



**PENGEMBANGAN MATERIAL ADSORBEN
DALAM MENINGKATKAN KINERJA METODE
DIFFUSIVE GRADIENT IN THIN FILMS UNTUK
APLIKASI ANALISIS POLUTAN LINGKUNGAN**

Prof. Dr. Ir. Khairuddin, S.Si., M.Si.



ORASI PENGUKUHAN GURU BESAR

PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TADULAKO

KATA PENGANTAR

**Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakaatuh
Selamat Pagi Salam Sejahtera untuk kita sekalian,**

Yang terhormat,
Rektor Universitas Tadulako dan Bapak/Ibu Wakil Rektor Universitas Tadulako
Ketua, Sekretaris dan seluruh anggota Senat Akademik Universitas Tadulako
Pimpinan Forkompinda yang sempat hadir
Ketua, Sekretaris dan seluruh anggota Dewan Guru Besar Universitas Tadulako
Dekan-Dekan, Wakil Dekan, Direktur Pascasarjana di lingkungan Universitas Tadulako
Ketua dan Sekretaris Lembaga di lingkungan Universitas Tadulako
Para dosen, tenaga fungsional, dan tenaga kependidikan Universitas Tadulako
Keluarga, teman sejawat, dan seluruh tamu undangan yang tidak dapat kami sebut satu per satu.

Syukur alhamdulillah rabbil 'alamiin, kami panjatkan rasa syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan nikmat nan tiada tara, sehingga kita dapat berkumpul di forum yang terhormat ini. Allahumma shalli'ala sayyidinaa Muhammad, wa'ala ali sayyidinaa Muhammad, semoga salawat dan salam tersebut senantiasa kita haturkan pada Nabi Agung Muhammad SAW, keluarga, para sahabat, dan segenap pengikutnya. Pada hari ini, saya mendapat kehormatan untuk menyampaikan orasi ilmiah sebagai Guru Besar dalam bidang Kimia Analitik Lingkungan. Saya mohon izin untuk menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

**PENGEMBANGAN MATERIAL ADSORBEN DALAM MENINGKATKAN KINERJA
METODE *DIFFUSIVE GRADIENT IN THIN FILMS* UNTUK APLIKASI ANALISIS
POLUTAN LINGKUNGAN**

Palu, Rabu 21 Mei 2025
Khairuddin

Hadiri yang kami hormati

Polutan lingkungan khususnya logam berat merupakan ancaman serius bagi lingkungan dan kesehatan manusia di seluruh dunia. Logam berat seperti merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd), dan arsenik (As) dapat mencemari tanah, air, dan udara, menyebabkan dampak negatif jangka panjang yang sulit dipulihkan. Unsur-unsur polutan di dalam lingkungan hidup air sungai maupun air laut maupun di dalam tanah dan sedimen terdapat dalam berbagai bentuk kimia atau spesi. Berbagai bentuk ini dapat berupa koloid, kompleks dengan bahan organik terlarut (*dissolved organic matter*), kompleks anorganik dan ion-ion bebas. Masing-masing spesi tersebut berbeda dalam hal toksisitas dan bioavailabilitas.

Toksisitas dan bioavailabilitas spesi ion seng, ion tembaga, ion kadmium terhadap organisme air jauh lebih tinggi dibandingkan apabila unsur tersebut membentuk kompleks dengan bahan organik terlarut, atau koloid atau bahkan partikel lainnya (Clarisse *et al*, 2009, Denney *et al*, 199, dan Dunn *et al*, 2007). Hal tersebut di atas tidak seluruhnya berlaku terhadap unsur runtuhan logam lainnya. Sebagai contoh untuk logam merkuri (Hg) dan timbal (Pb) apabila terbentuk proses metilasi maka toksisitas kedua kompleks ini akan jauh lebih tinggi bila dibandingkan dalam keadaan ion bebas (Meylan *et al*, 2004). Selain bersifat racun, logam berat juga akan terakumulasi dalam sedimen dan biota laut melalui proses gravitasi, biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi (Stauber *et al.*, 2005).

Pentingnya analisis polutan lingkungan tidak dapat diragukan mengingat dampaknya terhadap kesehatan manusia, ekosistem, dan kualitas hidup secara keseluruhan. Polutan seperti logam berat, senyawa organik, dan nutrisi berlebih dapat menyebabkan kerusakan permanen pada lingkungan dan makhluk hidup. Oleh karena itu, kebutuhan akan metode analisis yang sensitif, selektif, dan dapat diandalkan terus meningkat, terutama dalam konteks pemantauan polusi skala besar dan pengembangan strategi mitigasi polusi.

Pendekatan baru untuk pendugaan pencemaran logam berat dan status ekotoksikologi lingkungan perairan adalah dengan metode sampling menggunakan metode gradien difusi dalam film tipis (*Diffusive Gradients in Thin Films* disingkat DGT). Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Bill Davison dan Hao Zhang sejak tahun 1993 di Lancaster, Inggris. Metode ini ditetapkan sebagai teknik prekonsentrasi *in-situ* dan merupakan metode sampling pasif yang cocok untuk mengukur spesi labil yang terakumulasi di lingkungan akuatik, tanah, maupun sedimen. Pada prinsipnya DGT terdiri dari alat sederhana terbuat dari plastik yang berbentuk bulat dengan diameter 2,5 cm yang dapat diisi dengan lapisan tipis pengikat logam (adsorben) dan lapisan film tipis hidrogel sebagai lapisan difusi serta filter membran 0,45 mikron. Lapisan tipis hidrogel adalah jaringan polimer tiga dimensi yang sangat hidrofilik namun tidak larut dalam air. Ketika sepenuhnya terhidrasi, hidrogel dapat terisi lebih dari 95% air. Sifat lain dari hidrogel yang menarik adalah kapasitasnya untuk memungkinkan difusi yang terkendali, respon pengembangan (*swelling*) terhadap perubahan konsentrasi ion logam, pH, suhu, dan kemampuannya untuk berinteraksi dengan spesi kimia misalnya ion logam melalui gugus-gugus polar yang bertanggung jawab untuk sifat hidrofilik (Sally et al, 2006).

Metode *Diffusive Gradient in Thin Films* (DGT) bekerja berdasarkan prinsip difusi dan kinetika perpindahan massa polutan dalam suatu medium. DGT menggunakan dua komponen utama, yaitu lapisan difusi dan lapisan adsorben. Polutan dari medium lingkungan (seperti air atau tanah) melewati lapisan difusi, yang mengatur aliran polutan secara terkontrol dan mengikuti hukum **Fick** tentang difusi. Setelah melewati lapisan difusi, polutan kemudian ditangkap oleh lapisan adsorben di belakangnya.

Lapisan difusi memastikan bahwa hanya polutan yang bergerak secara bioavailabel yang dapat melewati dan ditangkap. Dengan pengukuran massa polutan yang teradsorpsi, konsentrasi polutan bioavailabel di medium lingkungan dapat dihitung secara presisi. Metode ini memungkinkan estimasi kinetika perpindahan polutan dari medium lingkungan menuju lapisan adsorben, memberikan gambaran yang mendalam tentang dinamika polutan di ekosistem tersebut.

DGT digunakan secara luas untuk mendeteksi berbagai jenis polutan yang berpotensi merusak ekosistem, di antaranya:

1. **Logam Berat:** Seperti arsenik (As), kadmium (Cd), timbal (Pb), merkuri (Hg), dan zinc (Zn). Logam berat ini sering ditemukan di area yang terkontaminasi akibat aktivitas industri, pertambangan, atau limbah rumah tangga.
2. **Senyawa Organik:** Termasuk pestisida, herbisida, dan zat organik kompleks yang berasal dari aktivitas pertanian atau limbah domestik.
3. **Nutrien Berlebih:** Seperti fosfat (PO_4^{3-}) dan nitrat (NO_3^-), yang dapat menyebabkan eutrofikasi di badan air.
4. **Polutan Mikroskopis:** Polutan *emerging* seperti *microplastics* dan senyawa organik sintetik yang sulit terdeteksi oleh metode tradisional .

Hadirin yang kami hormati,

Dalam air laut dan air sungai, logam berat terdapat dalam bentuk logam terlarut dan tersuspensi. Kedua bentuk ini dapat dipisahkan melalui penyaringan dengan menggunakan membran filter. Ion berdifusi melalui filter membran dengan cara pembentukan gradien konsentrasi yang konstan sehingga terkumpul pada lapisan adsorben (*binding layer*) yang menjadi dasar untuk mengukur logam dalam larutan secara kuantitatif. Massa logam pada lapisan pengikat diukur setelah dielusi dengan larutan asam. Konsentrasi spesi analit yang diikat lapisan pengikat logam DGT dianggap sama dengan konsentrasi yang berdifusi ke biota akuatik sehingga metode ini juga dapat memprediksi bioavailabilitas spesi-spesi anorganik labil seperti logam, fosfat, dan sulfida. Metode *Diffusive Gradient in Thin Films* (DGT) telah menjadi salah satu pendekatan inovatif dalam bidang analisis lingkungan, terutama untuk pemantauan polutan seperti logam berat dan senyawa organik yang berbahaya bagi ekosistem.

Metode ini menawarkan keunggulan dalam mendeteksi konsentrasi polutan bioavailabel secara akurat, memungkinkan para peneliti untuk mendapatkan gambaran yang lebih baik mengenai dinamika polusi di lingkungan. DGT diperkenalkan sebagai teknik analisis yang praktis dan presisi untuk mengukur konsentrasi polutan dalam berbagai matriks lingkungan, termasuk air, tanah, dan sedimen. Metode ini memanfaatkan lapisan difusi dan lapisan adsorben untuk menangkap polutan secara selektif melalui mekanisme perpindahan massa. Dengan kemampuan untuk mengukur konsentrasi polutan bioavailabel, DGT memberikan keuntungan dibandingkan metode tradisional yang sering kali hanya mengukur konsentrasi total polutan tanpa mempertimbangkan keterlibatan polutan dalam proses biologis.

Salah satu keunggulan utama DGT adalah kemampuannya untuk melakukan pengukuran secara in-situ, yang berarti pengukuran dilakukan langsung di lokasi tanpa perlu membawa sampel ke laboratorium. Hal ini mengurangi risiko perubahan konsentrasi analit selama transportasi dan penyimpanan. DGT digunakan untuk mengukur konsentrasi logam berat, fosfat, dan spesies kimia lainnya dalam air. Metode ini sangat berguna dalam studi lingkungan karena dapat memberikan informasi tentang ketersediaan biologis analit dan potensi dampaknya terhadap ekosistem.

Peran Material Adsorben dalam Meningkatkan Kinerja DGT

Lapisan adsorben merupakan komponen kunci dalam metode DGT, berfungsi sebagai media penyerapan yang menentukan efisiensi metode ini dalam menangkap polutan. Pemilihan material adsorben yang tepat dapat meningkatkan sensitivitas, selektivitas, serta kemampuan DGT dalam mendeteksi polutan dalam berbagai kondisi lingkungan. Material adsorben yang efisien memungkinkan metode DGT bekerja dengan lebih optimal, terutama untuk polutan dengan konsentrasi rendah atau polutan kompleks yang sulit dideteksi.

Seiring berkembangnya metode *Diffusive Gradient in Thin Films* (DGT), berbagai jenis material adsorben telah diuji dan digunakan untuk meningkatkan efisiensi metode ini dalam menangkap polutan lingkungan. Resin ionik seperti Chelex-100, merupakan salah satu material adsorben yang paling umum digunakan dalam DGT untuk menangkap logam berat. Material ini bekerja melalui pertukaran ion, di mana ion logam ditarik ke dalam resin melalui mekanisme selektif. Material lainnya adalah nanomaterial, seperti nanopartikel logam oksida (misalnya TiO_2 , Fe_3O_4), telah digunakan untuk menangkap senyawa organik dan logam berat. Nanopartikel berukuran kecil menyediakan luas permukaan yang besar untuk proses adsorpsi, sehingga meningkatkan kapasitas penyerapan dan material berbasis karbon, seperti activated carbon dan graphene, digunakan dalam DGT untuk menangkap senyawa organik kompleks. Struktur pori yang besar dan stabilitas kimia yang tinggi menjadikan material ini sangat efektif dalam berbagai kondisi lingkungan.

Pengembangan metode DGT saat ini banyak dilakukan melalui pengembangan lapisan pengikat (*binding layer*) untuk analisis logam berat dalam sistem perairan, tanah, maupun sedimen. Li *et al.* (2002) menggunakan hidrogel poliakrilamidoglikolik-ko-akrilamida untuk analisis ion Cu(II). Kinerja lapisan pengikat ini dianalisis melalui uji variasi waktu, konsentrasi larutan awal, pH, dan kekuatan ion sebagai NaNO_3 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pengikatan logam Cu(II) berlangsung optimum berlangsung pada pH 5,4 dan konsentrasi bertambah secara linier hingga waktu kontak 24 jam, kekuatan ion optimum pada konsentrasi NaNO_3 0,01 M, dan persen perolehan kembali Cu(II) mencapai 94% dengan menambahkan matriks ion pengganggu Cd^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} dan Ca^{2+} . Hasil penelitian Li *et al.* (2002) yang lain menggunakan membran penukar ion selulosa fosfat (Whatman P81) sebagai lapisan pengikat dalam metode difusi gradien dalam film tipis untuk menganalisis logam Cu(II) dan Cd(II). Hasil penelitian menunjukkan kesesuaian yang sangat baik dengan pola prediksi teoritis.

Hasil sintesis dan karakterisasi hidrogel kopolimer poliakrilamida-poliakrilat oleh Li *et al* (2002) telah diaplikasikan untuk analisis logam berat Cu(II) dan Cd(II). Lapisan pengikat ini mempunyai pKa 4,5 rasio pengembangan 120 pada pH 6, pengikatan logam optimum pada pH 5, dan persen perolehan kembali Cu(II) mencapai lebih dari 94% dengan matriks ion pengganggu K⁺, Na⁺, Mg²⁺ dan Ca²⁺.

Natrium poliakrilat sebagai lapisan pengikat dengan metode DGT untuk analisis ion Cu²⁺ dan Cd²⁺ telah diteliti oleh Fan *et al.* (2009) sedangkan Sui *et al.* (2013) menggunakan poli(etilenamina) sebagai lapisan pengikat untuk menganalisis kadar logam labil Cu²⁺, Cd²⁺, dan Pb²⁺ dalam perairan alami. Pengukuran logam-logam labil tersebut dibandingkan dengan menggunakan lapisan pengikat poliakrilat, dan poli (4-stirensulfonat). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi logam labil yang terukur berbeda untuk masing-masing jenis lapisan pengikat.

Selain menggunakan material sintetik sebagai lapisan pengikat, material yang berbeda digunakan oleh Menegario *et al.* (2010) dan Pescim *et al.* (2012) dengan memanfaatkan *Saccharomyces cerevisiae* yang diimobilisasi dalam agarosa sebagai lapisan pengikat untuk menentukan kadar logam berat dalam sistem perairan baik air laut maupun air sungai. Metode gradien difusi dalam film tipis dengan menggunakan lapisan pengikat logam *selulosa nata de coco-dietilentriamina* dan lapisan difusi gel poliakrilamida dan gel difusi agarosa untuk analisis polutan Cu(II) dan modifikasi **selulosa dengan surfaktan heksadesiltrimetilammonium** untuk analisis fosfat telah kami teliti dan terbukti dengan baik dapat diaplikasikan dalam lingkungan perairan baik air laut, sungai, maupun air sawah pertanian.

Hadirin yang saya hormati,

Inovasi dalam pengembangan material adsorben memainkan peran penting dalam memperluas aplikasi DGT. Sebagai contoh, penggunaan resin ionik telah memungkinkan deteksi logam berat dengan tingkat presisi tinggi. Selain itu, material berbasis nanopartikel telah menunjukkan kemampuan superior dalam menyerap senyawa organik, sementara bahan berbasis karbon seperti graphene menawarkan stabilitas dan kehandalan dalam berbagai kondisi lingkungan.

Pengembangan material baru juga berfokus pada peningkatan kapasitas adsorpsi, daya tahan terhadap degradasi kimia, dan kompatibilitas dengan berbagai polutan. Strategi ini bertujuan untuk mengoptimalkan metode DGT agar dapat diterapkan pada skala lebih luas, mencakup lingkungan laut, daratan yang tercemar, dan bahkan dalam konteks industrial. Kombinasi antara lapisan adsorben yang canggih dan desain DGT yang inovatif memungkinkan metode ini beradaptasi dengan tantangan baru dalam analisis polutan lingkungan.

Penelitian pengembangan material adsorben DGT bertujuan untuk meningkatkan kinerja metode DGT, baik dari segi sensitivitas maupun selektivitas terhadap berbagai jenis polutan lingkungan. Beberapa fokus utama penelitian ini meliputi: pengembangan material adsorben dengan kapasitas adsorpsi tinggi untuk menangkap polutan dengan konsentrasi rendah secara efisien, mengidentifikasi material adsorben dengan daya tahan tinggi terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti pH tinggi, kadar salinitas, atau keberadaan kontaminan lain; menguji kompatibilitas material adsorben baru terhadap berbagai jenis polutan baik logam berat maupun senyawa organik kompleks untuk memastikan penerapan yang luas; mengoptimalkan metode DGT dengan material adsorben baru sehingga dapat diterapkan dalam studi lingkungan yang lebih beragam, seperti lingkungan air tawar, laut, dan tanah; serta memberikan kontribusi bagi strategi pemantauan dan mitigasi polusi yang berkelanjutan khususnya melalui teknologi analisis lingkungan yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Dengan tercapainya tujuan-tujuan tersebut, diharapkan metode DGT dapat lebih diandalkan dalam mendukung penelitian lingkungan dan pengambilan keputusan terkait pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan.

Peran Lapisan Adsorben dalam DGT berfungsi sebagai media utama untuk menangkap polutan setelah melewati lapisan difusi. Efektivitas DGT sangat bergantung pada jenis dan kualitas lapisan adsorben yang digunakan. Adsorben harus memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. **Kapabilitas Penyerapan Tinggi:** Mampu menyerap polutan dengan konsentrasi rendah secara efisien.
2. **Selektivitas Polutan:** Mampu menangkap jenis polutan tertentu dengan tingkat akurasi yang tinggi.
3. **Stabilitas Kimia:** Tahan terhadap degradasi atau perubahan akibat paparan lingkungan ekstrem seperti suhu, pH, atau salinitas.

Untuk mengevaluasi efektivitas material adsorben yang dikembangkan, dilakukan serangkaian uji kinerja yang meliputi:

1. **Sensitivitas:**

- Pengujian dilakukan untuk menentukan batas deteksi polutan yang dapat diadsorpsi oleh material baru. Uji ini melibatkan paparan material terhadap larutan dengan konsentrasi polutan yang sangat rendah.
- Hasil uji sensitivitas dibandingkan dengan lapisan adsorben konvensional untuk mengetahui tingkat peningkatan kinerja.

2. **Selektivitas:**

- Uji selektivitas dilakukan dengan menggunakan campuran beberapa jenis polutan untuk melihat kemampuan material dalam menangkap polutan target secara spesifik.
- Selektivitas diukur berdasarkan efisiensi adsorpsi untuk setiap jenis polutan dalam campuran.

3. **Daya Tahan:**

- Material diuji dalam berbagai kondisi lingkungan, seperti variasi pH, suhu, dan salinitas, untuk mengevaluasi ketahanannya terhadap degradasi kimia dan fisik.
- Uji siklus regenerasi dilakukan untuk mengetahui apakah material dapat digunakan kembali tanpa kehilangan efisiensi adsorpsi.

Hadirin yang saya hormati,

Untuk meningkatkan kinerja metode DGT, pengembangan material adsorben baru menjadi fokus utama dalam penelitian lingkungan. Beberapa strategi pengembangan yang dapat dilakukan meliputi: menggabungkan kelebihan nanomaterial dengan material berbasis karbon untuk menciptakan lapisan adsorben dengan kapasitas adsorpsi tinggi dan stabilitas kimia yang lebih baik. Mengembangkan adsorben berbasis biopolimer, seperti kitosan, yang ramah lingkungan dan memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi terhadap polutan organik maupun anorganik, memodifikasi permukaan material dengan senyawa kimia tertentu untuk meningkatkan selektivitas terhadap polutan spesifik, seperti logam berat atau senyawa organik kompleks.

Selain memanfaatkan lapisan adsorben, metode DGT dapat dibandingkan dengan pendekatan berbasis biologis seperti penggunaan tanaman hiperakumulator untuk menentukan bioavailabilitas polutan di lingkungan. Tanaman hiperakumulator merupakan spesies yang memiliki kemampuan luar biasa dalam menyerap dan mengakumulasi polutan seperti logam berat melalui akar dan jaringan mereka. Pendekatan ini sering digunakan sebagai indikator biologis untuk memahami distribusi dan dampak polutan terhadap ekosistem.

Dalam pengembangan lebih lanjut, kombinasi antara metode DGT dan penggunaan tanaman hiperakumulator dapat menjadi solusi yang lebih komprehensif untuk analisis polutan dan pemulihan lingkungan. DGT dapat digunakan untuk pengukuran bioavailabilitas polutan dengan presisi tinggi, sementara tanaman hiperakumulator memberikan indikasi biologis tentang dampak polutan terhadap ekosistem. Integrasi ini tidak hanya akan meningkatkan keandalan metode DGT, tetapi juga memberikan wawasan yang lebih menyeluruh tentang hubungan antara polutan, bioavailabilitas, dan kesehatan ekosistem.

Pengembangan material adsorben yang dapat bekerja selaras dengan biomarker biologis dari tanaman hiperakumulator juga dapat menjadi salah satu strategi inovatif dalam analisis lingkungan. Dengan pendekatan ini, metode DGT dapat memainkan peran yang lebih besar dalam mendukung penelitian dan manajemen lingkungan secara berkelanjutan.

Metode inovatif ini juga kami telah kembangkan diantaranya dengan meneliti kemampuan metode DGT yang dibandingkan dengan tanaman sawi (*brassica juncea*) dalam menyerap ketersediaan hayati logam emas (Au) dalam tanah.

KESIMPULAN

Metode DGT telah terbukti tidak hanya dalam analisis polusi lingkungan tetapi juga sebagai alat penting dalam penelitian ilmiah, termasuk studi bioavailabilitas logam berat dalam rantai makanan dan pelacakan dinamika polusi di ekosistem yang kompleks. Dengan mengintegrasikan teknologi baru, seperti pengembangan material adsorben yang lebih efisien, potensi metode ini untuk aplikasi yang lebih luas menjadi semakin menjanjikan. Pengembangan material adsorben baru dalam metode *Diffusive Gradient in Thin Films* (DGT) telah terbukti memberikan peningkatan signifikan terhadap efisiensi metode ini dalam analisis polutan lingkungan.

Penggunaan material yang dimodifikasi secara spesifik memungkinkan identifikasi polutan target dengan akurasi yang lebih tinggi. Dengan pengembangan material, metode DGT kini dapat digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis polutan, baik logam berat maupun senyawa organik kompleks, di berbagai lingkungan seperti air, tanah, dan sedimen. Dengan pencapaian ini, metode DGT yang telah diperbarui tidak hanya lebih efisien, tetapi juga lebih fleksibel dalam mendukung penelitian dan pemantauan kualitas lingkungan, sehingga memberikan kontribusi besar terhadap upaya pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Hadirin yang terhormat,

Sebelum saya mengakhiri orasi ilmiah ini, izinkan saya mengucapkan syukur alhamdulillah rabbil alamiin atas nikmat dan karunia Allah SWT, sehingga saya mendapatkan kesempatan untuk meraih jabatan guru besar. Saya yakin bahwa semua ini semata-mata karena kehendak Illahi Rabbi. Selanjutnya pada kesempatan yang membahagiakan ini, izinkan saya untuk menyampaikan terima kasih tak terhingga dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Pemerintah Republik Indonesia melalui Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, Bapak Brian Yulianto yang telah memberikan kepercayaan kepada saya untuk memangku jabatan fungsional Guru Besar dalam bidang Kimia Analitik Lingkungan pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tadulako terhitung mulai tanggal 1 April 2025.
2. Rektor Universitas Tadulako, Prof. Dr. Amar, ST, MT. IPU, ASEAN Eng. Atas kesempatan, dukungan, semangat dan rekomendasinya sehingga saya dapat menduduki jabatan Guru Besar.
3. Ketua dan Sekretaris Senat Universitas Tadulako, Prof. Dr. Djayani Nurdin, SE, M.Si dan Muh. Iqbal, ST, MT dan seluruh anggota senat akademik universitas yang telah memberikan pertimbangan dan persetujuan pengusulan jabatan Guru Besar saya.
4. Ketua dan Sekretaris Dewan Guru Besar Untad, Prof. Dr. Ir. Faturrahman, MP dan Prof. Dr. Rosmala Nur, M.Si, dan seluruh anggota Dewan Profesor Universitas Tadulako atas pembahasan dan persetujuan pengusulan Guru Besar saya.
5. Bapak/ibu Wakil Rektor Universitas Tadulako, Prof. Dr. Ir. Andi Rusdin, ST, MT, M.Eng, Prof. Dr. Rusydi H. M.Si, Dr. Ir. Sagaf, MP, Dr.Ir. Aiyen, MSc. Agr,.
6. Ketua, Sekretaris dan Anggota Satuan Pengawas Internal (SPI) dan terkhusus pada Ketua, Sekretaris, anggota dan staf SPI periode 2021 – 2025 Dr. H. Iqbal Bakry, SE. M.Si, Dr. Asri Lasatu, SH. MH, Dr. Abdul Rivai, Ir. Uswah Hasanah, M.Agr.Sc. Ph.D dan Rahma Masdar, SE. M.Si. Ak terima kasih atas kerjasamanya dan motivasi dalam mendukung usulan Guru Besar saya.

7. Ketua, Sekretaris dan Anggota Tim Validasi dan Verifikasi Remunerasi Universitas Tadulako atas terjalannya kerjasama dan kekompakan dalam menjalankan tugas.
8. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Prof Dr. Lufsyi Mahmuddin, S.Si., M.Si dan wakil-wakil dekan, atas penguatan dan motivasi untuk meraih jabatan Guru Besar.
9. Ketua, Sekretaris, dan anggota Senat Akademik Fakultas MIPA yang telah memberikan pertimbangan dan persetujuan atas usulan Guru Besar saya.
10. Pimpinan Jurusan Kimia-Biologi-Farmasi dan Ketua Prodi S1 dan S2 Kimia beserta rekan sejawat dosen dan tendik atas kebersamaan yang dibangun sehingga memungkinkan saya dapat melaksanakan tridharma perguruan tinggi.
11. Para staf di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Bu Evi, Bu Fitriani Husain, Bu Rahmahayati; staf akademik Universitas; Bu Minarni, Bu Anggi, Pak Dayat, dan Pak Ismet terima kasih atas bantuannya.
12. Bapak/ibu Pembimbing Disertasi di Program Doktor Universitas Hasanuddin: Prof. Dr. Abd. Wahid Wahab, M.Sc., Prof. Dr. Buchari. (almarhum), dan Prof. Dr. Indah Raya, M.Si yang telah memberikan bimbingan dan arahan hingga disertasi terselesaikan dengan lancar.

Secara khusus, pada kesempatan yang berbahagia ini, izinkan saya menyampaikan terima kasih yang tulus kepada:

1. Kedua orang tua saya, Bapak H. Muhammad Junus (alm) dan Ibu Hj. Bunga atas kasih sayang, pendidikan disertai kepercayaan yang tinggi pada saya. Semoga Allah SWT memberikan tempat terbaik untuk Bapak dan anugerah sehat, panjang umur, dan kebahagiaan untuk Mama tercinta.

2. Bapak dan Ibu mertua saya, Bapak Drs. H. Abdul Salam (almarhum) dan Ibu Dra Hj. Naira (almarhum) atas kebaikan luar biasa tak terhitung. Semoga Allah SWT memberikan tempat terbaik untuk Bapak dan Ibu Mertua.

3. Kakak: Ir. M. Risaluddin beserta keluarga; Hj. Siti Nurjannah, S.Pd. SD beserta keluarga, Prof. Dr. H. Amiruddin, M.Si. Ak, CA, CPA. beserta keluarga. Adik: Dr. Nasruddin, ST. MT beserta keluarga, Fahrudin, S.Si., Apt., M.Si beserta keluarga semoga Allah SWT senantiasa menjaga kerukunan dan kekompakan keluarga kita.

4. Adik dari istri: Hj. Nur Emmy, S.Pd. M.Pd beserta keluarga, Ahmad Asmawi dan A. Jurhan, ST atas pengertian dan dukungan yang diberikan selama ini.

5. Istri saya, Dra. Hj. Nuraeni, Apt. MM, dan anak-anak saya: Nishrina Nurul Amirah, ST., Rifdah Zakiyyah Khaerani dan Muhammad Farid Akbar yang telah mendampingi saya dengan penuh kesabaran di segala kondisi, suka dan duka, penyejuk dan penghibur hati, dan tanpa henti mendoakan saya untuk menjadi yang terbaik dalam keluarga. Meski kebersamaan kita banyak tersita, namun kalian tetap lekat dalam hati sanubariku selamanya. Semoga Allah SWT melipatgandakan balasan yang terbaik untuk kalian.

Hadirin yang terhormat,

Demikian orasi ilmiah ini disampaikan. Saya menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada Bapak/Ibu/Saudara yang telah meluangkan waktu untuk menghadiri acara pengukuhan Guru Besar ini. Saya mohon maaf apabila dalam penyampaian orasi ilmiah ini terdapat hal-hal yang kurang berkenan di hati Bapak/Ibu/Saudara. Saya mohon dukungan agar dapat mengemban amanah jabatan ini dengan penuh tanggungjawab untuk memberikan manfaat sebesar-besarnya bagi masyarakat dan berkontribusi lebih optimal terhadap pencapaian visi dan misi Universitas Tadulako.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakaatuh.

DAFTAR RUJUKAN

- Clarisse O., Foucher D., Hintelmann H., 2009, Methylmercury Speciation in The Dissolved Phase of a Stratified Lake Using The Diffusive Gradient in Thin Films Technique, *Environmental Pollution*, 157: 987–993;
- Clarisse, O., Lotufo, G.R., Hintelmann, H., Best, E.P.H., 2012, Biomonitoring and Assessment of Monomethylmercury Exposure in Aqueous Systems Using The DGT Technique, *Science of the Total Environment*, 416: 449–454;
- Dahlqvist, R., Zhang, H., Ingri, J., 2002, Performance of The Diffusive Gradients in Thin Films Technique for Measuring Ca and Mg in Freshwater. *Analytica Chimica Acta*. 460: 247–256;
- Denney, S., Sherwood, J., Leyden, J., 1999, In Situ Measurements of Labile Cu, Cd and Mn in River Waters Using DGT, *The Science of the Total Environment*, 239: 71–80;
- Docekalova, H., Divis, P., 2005, Application of Diffusive in Thin Films Technique (DGT) to Measurement of Mercury in Aquatic System, *Talanta*, 65:1174–1178;
- Dunn, R.J.K., Teasdale, P.R., Warnken, J., Jordan, M.A., 2007, Evaluation of The in Situ, Time-Integrated DGT Technique by Monitoring Changes in Heavy Metal Concentrations In Estuarine Waters, *Environmental Pollution*, 148: 213–220;
- Duquene, L., Vandenhove, H., Tack, F., 2010, Diffusive Gradient in Thin Films (DGT) Compared With Soil Solution and Labile Uranium Fraction for Predicting Uranium Bioavailability to Ryegrass. *Journal of Environmental Radioactivity*, 101: 140–147.
- Fan, H., Sun T., Li, W., 2009. Sodium Polyacrylate as a Binding Agent in Diffusive Gradients in Thin-Films Technique for The Measurement of Cu²⁺ and Cd²⁺ in Waters, *Talanta*, 79:1228–1232;
- Li, W., Zhao H., Teasdale P.R., John, R., Zhang, S., 2002, Application of a Cellulose Phosphate Ion Exchange Membrane as a Binding Phase in The Diffusive Gradients in Thin Films Technique for Measurement of Trace Metals. *Analytica Chimica Acta*, 464: 331–339;
- Li, W., Zhao H., Teasdale P.R., John, R., 2002, Preparation and Characterisation of a Poly(acrylamidoglycolic acid co-acrylamide) Hydrogel for Selective Binding of Cu²⁺ and Application to Diffusive Gradients in Thin Films Measurements, *Polymer*, 43: 4803–4809;

DAFTAR RUJUKAN

- Li, W., Zhao, H., Teasdale, P.R. John, R., Zhang, S., 2002, Synthesis and Characterisation of a Polyacrylamide–polyacrylic Acid Copolymer Hydrogel for Environmental Analysis of Cu and Cd, *Reactive & Functional Polymers*, 52: 31–41;
- Mason, S., Hamon, R., Zhang, H., 2008, Investigating Chemical Constraints to The Measurement of Phosphorus in Soils Using Diffusive Gradients in Thin Films (DGT) and Resin Methods, *Talanta*, 74: 779–787;
- McGifford, R.W., Seen, A.J., Haddad, P.R., 2010, Direct Colorimetric Detection of Copper(II) Ions in Sampling Using Diffusive Gradients in Thin Films, *Analytica Chimica Acta*, 662: 44–50;
- Menegario, A.A.T., Paulo, S.T., Durrant, S.F., 2010, Use of *Saccharomyces Cerevisiae* Immobilized in Agarose Gel as a Binding Agent for Diffusive Gradients in Thin Films, *Analytica Chimica Acta*, 683: 107–112;
- Meylan, S., Odzak, N., Behra, R., 2004, Speciation of Copper and Zinc in Natural Freshwater: Comparison of Voltammetric Measurements, Diffusive Gradients In Thin Films (DGT) and Chemical Equilibrium Models, *Analytica Chimica Acta*, 510: 91–100;
- Pescim, G. F., Marrach, G., Silva, M. V., Souza, L.A., Menegario, A.A., 2012, Speciation of Lead in Seawater and River Water by Using *Saccharomyces Cerevisiae* Immobilized in Agarose Gel as a Binding Agent in The Diffusive Gradients in Thin Films Technique, *Analytical Bioanalytical Chemistry*, 404:1581–1588;
- Peters, A. J., Zhang, H., Davison, W., 2003, Performance of The Diffusive Gradients in Thin Films Technique for Measurement of Trace Metals in Low Ionic Strength Freshwaters, *Analytica Chimica Acta*, 478: 237–244.
- Scally, S., Davison, W., Zhang, H., 2006, Diffusion Coefficients of Metals and Metal Complexes in Hydrogels Used in Diffusive Gradients in Thin Films, *Analytica Chimica Acta*, 558: 222–229;
- Shen, W., Chen, S., Shi, S., 2009, Adsorption of Cu(II) and Pb(II) Onto Diethylenetriamine-Bacterial Cellulose, *Carbohydrate Polymers*, 75: 110–114;

DAFTAR RUJUKAN

Sochaczewski, L., Tych, W., Davison, B., 2007, 2D DGT Induced Fluxes in Sediments and Soils (2D DIFS), *Environmental Modelling & Software*, 22: 14-23;

Souza, J.M., Menegario, A.A., Araujo, M.G., Francioni E., 2014, Measurements of Labile Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn Levels at A Northeastern Brazilian Coastal Area Under The Influence of Oil Production With Diffusive Gradients in Thin Films Technique (DGT), *Science of the Total Environment*, 500-501: 325-331;

Stauber, S. A., Ramirez, M., and Adams, M., 2005, Copper Bioavailability in A Coastal Environment of Northern Chile: Comparison of Bioassay and Analytical Speciation Approaches, *Marine Pollution Bulletin*, 50 : 1363–1372;

Sui, D.P., Fan, H.T., Li, J., Li, Y., Li, Q., Sun, T., 2013, Application of Poly(ethyleneimine) Solution as a Binding Agent in DGT Technique for Measurement of Heavymetals in Water, *Talanta*, 114: 276–282;

Warnken, J., Dunn, J.K. Ryan, Teasdale, Peter R., 2004, Investigation of Recreational Boats as a Source of Copper at Anchorage Sites Using Time-Integrated Diffusive Gradients in Thin Film and Sediment Measurements, *Marine Pollution Bulletin*, 49: 833–843;

Webb, J.A., Keough, M.J., 2002, Measurement of Environmental Trace-Metal Levels With Transplanted Mussels and Diffusive Gradients in Thin Films (DGT): A Comparison Of Techniques, *Marine Pollution Bulletin*, 44: 222–229.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap: Prof. Dr. Ir. Khairuddin, S.Si., M.Si.
Tempat/Tanggal Lahir: Bone, 31 Desember 1967
Pendidikan :
1.S1- Kimia, FMIPA UNHAS, 1993
2.S2- Kimia, FMIPA ITB, 1997
3.S3- Ilmu Kimia, FMIPA UNHAS, 2016
4.Ir - PPI-UNTAD, 2023
Riwayat Pekerjaan:
1.Ketua Lab Unit Kimia UP-MIPA 2002 -2004
2.Sekretaris Prodi S1-Kimia, 2004-2006
3.Ketua Prodi S1-Kimia, 2007-2008
4.Ketua Jurusan Kimia, 2008 – 2011
5.Kepala Lab Kimia Analitik, 2016 -2019
6.Ketua Senat Akademik FMIPA 2019 – 2021
7.Satuan Pengawas Internal (SPI) 2021 - 2025
Alamat: Jl. Soekarno Hatta Perumahan Dosen UNTAD Blok C9 No. 20
Kelurahan Tondo Kec. Mantikulore Kota Palu Prop. Sulawesi
Tengah Kode Pos 94118
Email: khairuddiin@untad.ac.id
Telepon: 0811457867

FOTO KELUARGA

