

**KARAKTERISASI SIFAT MAGNETIK DAUN UNTUK
ANALISA POLUSI UDARA;
SEBUAH TINJAUAN ULANG**

TUGAS AKHIR PENULISAN ARTIKEL ILMIAH

Diajukan oleh:

YULIA WIDIA SARI

NIM. 150702113

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2020 M / 1442 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

KARAKTERISASI SIFAT MAGNETIK DAUN UNTUK ANALISA POLUSI UDARA; SEBUAH TINJAUAN ULANG

TUGAS AKHIR PENULISAN ARTIKEL ILMIAH

Sesuai dengan Keputusan Rektor Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Nomor 14 Tahun 2020 tentang Pedoman Pelaksanaan Penyelesaian Tugas Akhir
Mahasiswa Strata (S-1) Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh pada
Masa Tanggap Darurat Corona Virus Disease 2019 (Covid-19)
Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh

YULIA WIDIA SARI

NIM. 150702113

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Disetujui Oleh:

Pembimbing I

(Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.)

NIDN. 2013128901

Pembimbing II

(Yeggi Darnas, M.T)

NIDN. 2020067905

LEMBAR PENGESAHAN

KARAKTERISASI SIFAT MAGNETIK DAUN UNTUK ANALISA POLUSI UDARA; SEBUAH TINJAUAN ULANG

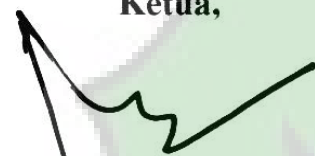
TUGAS AKHIR PENULISAN ARTIKEL ILMIAH

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry dan dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Kamis, 27 Agustus 2020
Hari/Tanggal: 8 Muharam 1442

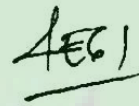
Panitia Ujian Munaqosah Tugas Akhir Terjemahan Artikel Jurnal Ilmiah

Ketua,



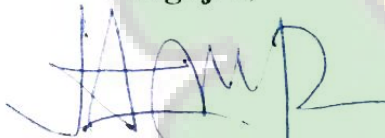
Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc
NIDN. 2013128901

Sekretaris,



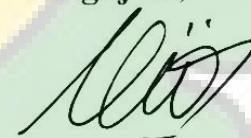
Yeggi Darnas, M.T
NIDN. 2020067905

Penguji I,



Dr. Muhammad Nizar M.T
NIDN. 0122057502

Penguji II,



Mulyadi Abdul Wahid M.Sc
NIDN. 2022108701

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Dr. Azhar Amsal, M.Pd *h*
NIDN. 2001066802

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR PENULISAN ARTIKEL ILMIAH

Nama : Yulia Widia Sari
NIM : 150702113
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Artikel : Karakterisasi Sifat Magnetik Daun untuk Analisa Polusi Udara

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan Terjemahan Artikel Jurnal Ilmiah ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 25 Desember 2020
Yang Membuat Pernyataan,



Yulia Widia Sari

KATA PENGANTAR



Dengan mengucapkan Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahman dan rahim-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pengganti Skripsi yaitu Penulisan Artikel Ilmiah dengan Judul **“Karakterisasi Sifat Magnetik Daun untuk Analisa Polusi Udara; Sebuah Tinjauan Ulang”** Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana pada Program Studi S-rata-1 (S-1) Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Perjalanan panjang telah penulis tempuh dalam rangka menyelesaikan Tugas Akhir ini, penyelesaian Skripsi mengalami kendala karena pandemi Virus Corona atau Covid-19. Namun berdasarkan keputusan Rektor UIN Ar-Raniry No. 14 Tahun 2020 tentang pedoman pelaksanaan penyelesaian Tugas Akhir mahasiswa Strata satu (S-1) Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh pada masa tanggap darurat Covid-19. Maka penulis mengambil pilihan untuk menulis Artikel Ilmiah.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis menerima banyak sekali bantuan, dukungan, kritik, saran dan doa, sehingga Tugas Akhir ini berhasil diselesaikan. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayahanda Azhari dan Ibunda Pawit Sumiati serta kakak dan adikku yang senantiasa memberikan doa dan dukungan yang tiada hentinya.
2. Bapak Dr. Abdullah Mujahid Hamdan, M.Sc. Selaku Pembimbing I, yang telah memberi nasihat, arahan, dan bimbingan penyelesaian Tugas Akhir.
3. Ibu Yeggi Darnas, M.T Selaku Pembimbing II, yang telah memberi nasihat, arahan, dan bimbingan dalam penulisan Tugas akhir.
4. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M.Si. Selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan.
5. Ibu Yeggi Darnas, S.T. M.T. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan.

6. Bapak Andian Aristia Anas, M.Sc Selaku dosen penasihat akademik yang telah banyak motivasi selama masa perkuliahan.
7. Bapak Teuku Muhammad Ashari, M.Sc. Selaku kepala Laboratorium Teknik Lingkungan.
8. Seluruh Dosen Prodi Teknik Lingkungan yang telah memberikan dan membagi ilmunya kepada penulis.
9. Teman-teman seperjuangan di Teknik Lingkungan angkatan 2015 yang selalu memberikan dorongan semangat serta motivasi dalam penulisan Tugas Akhir (TA).

Akhir kata penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan limpahan berkah dan rahmat-Nya. Semoga penulisan ini bermanfaat untuk pengembangan keilmuan dan pengetahuan di masa depan.

Banda Aceh, 25 Desember 2020
Penulis,

Yulia Widia Sari

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN ARTIKEL	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
ABSTRAK	1
1. Pendahuluan	1
2. Metode Kemagnetan pada Daun	5
2.1 Pengukuran Suseptibilitas Magnetik	6
2.2 <i>Ishothermal Remanent Magnetization</i> (IRM)	7
2.3 <i>Anhysteristic Remanent Magnetization</i> (ARM).....	7
2.4 Termomagnetik	8
2.5 Instrumen Pengukuran	8
3. Biomonitoring Melalui Sifat Magnetik pada Daun	9
3.1 Pendekatan Biomonitoring	11
3.2 Biomonitoring dan Pemantauan Biomagnetik Partikulat.....	11
3.3 Partikel Polutan Terdeposisi atau Terserap.....	13
3.4 Teknik Pengambilan Sampel.....	13
4. Sifat Fisis Polutan Atmosfer.....	15
5. Kesimpulan	17
DAFTAR PUSTAKA	18
LOA JURNAL.....	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Siklus PM di Udara.....	3
Gambar 2	Diagram Aplikasi Kemagnetan Batuan	6
Gambar 3	Tata Letak Pengambilan Sampel	14



DAFTAR TABEL

Tabel 1	Metoda Pengukuran Kemagnetan Daun dan Instrumennya	8
Tabel 2	Penelitian Sifat Magnetik Menggunakan Daun.....	12



ABSTRAK

Polusi udara merupakan salah satu masalah lingkungan yang dapat menimbulkan dampak serius pada manusia dan lingkungan. Untuk mencegah meluasnya dampak negatif tersebut, maka dapat dilakukan upaya monitoring lingkungan yang dilakukan secara berkala. Metode monitoring yang ada pada dasarnya menggunakan metode kimia yang bersifat destruktif. Oleh karena itu, pengembangan dan penggunaan metode yang cepat, dan non destruktif merupakan inovasi yang sangat dibutuhkan. Salah satu alternatif metode yang diharapkan sebagai inovasi tersebut adalah metode kemagnetan batuan. Metode kemagnetan batuan telah digunakan untuk mengkaji terkait perubahan iklim dan lingkungan. Aplikasi metode ini telah dimanfaatkan pada bidang *biomagnetism* atau kajian tentang kemagnetan pada makhluk hidup melalui keberadaan mineral magnetik berdasarkan jenis, ukuran bulir, bentuk bulir, dan morfologinya. Artikel ini merupakan tinjauan ulang pemanfaatan metoda kemagnetan batuan untuk mengkarakterisasi daun sebagai reseptor polutan atmosfer

Kata Kunci: *polusi udara, kemagnetan batuan, sifat magnetik, logam berat, biomonitoring*

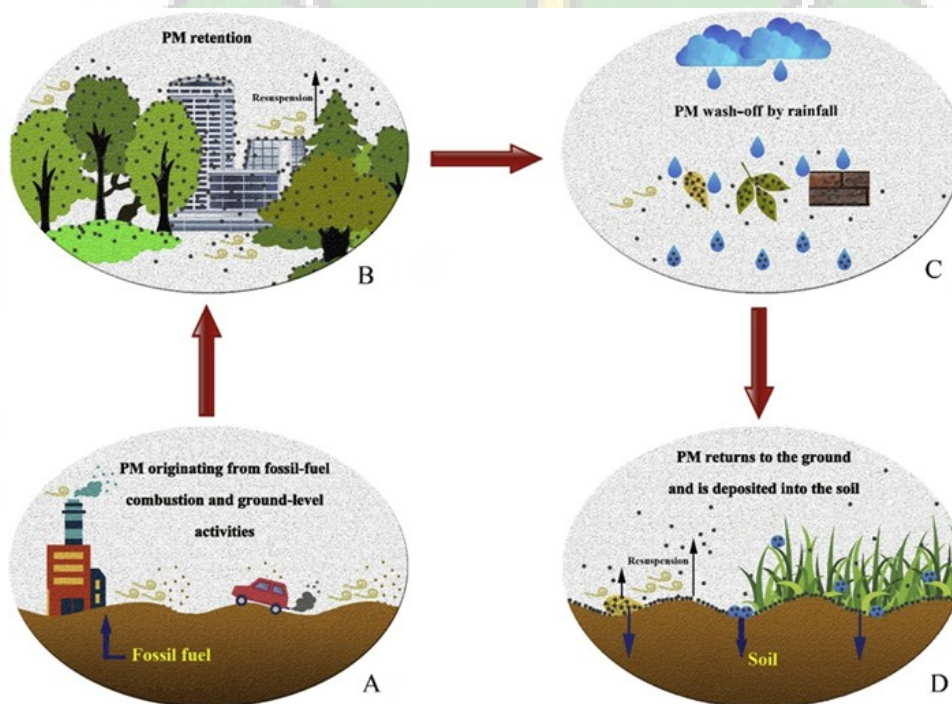
1. Pendahuluan

Meningkatnya polutan pada atmosfer disebabkan oleh beberapa faktor seperti; perkembangan industri, pertumbuhan ekonomi yang pesat, peningkatan urbanisasi, lalu lintas dan transportasi, serta penggunaan energi yang tinggi (Wagh dkk., 2006). Hal ini berdampak pada pemanasan global serta perubahan iklim. Sehingga dibutuhkan pemantauan dan mengendalikan pencemaran untuk menjaga kualitas lingkungan (Idrees dan Zheng, 2020). Polusi udara dapat menjadi faktor penyebab masalah kesehatan masyarakat yang paling penting di daerah perkotaan, dimana partikel tersuspensi antropogenik di atmosfer berkaitan dengan banyak polutan di udara (Germade dkk., 2014). Modernisasi dan industrilisasi di negara-negara berkembang telah menyebabkan meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil dan polutan (Wagh dkk., 2006; Germade dkk., 2014; Aksu, 2015). Bahkan di

negara berkembang kondisi ini lebih mengkhawatirkan sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk yang signifikan serta industrialisasi yang tidak berkelanjutan (Castanheiro dkk., 2019). Dengan demikian negara - negara berkembang dihadapkan pada tantangan besar untuk mengendalikan polusi atmosfer terutama di kota-kota besar yang tumbuh dengan pesat (Cai, Li dan Na, 2019)

Semua polutan, baik berupa polutan di dalam tanah, air, dan atmosfer menyebabkan penurunan kualitas kehidupan secara umum, baik bagi kesehatan manusia maupun keberlangsungan organisme yang lain. Material polutan dapat berasal dari sumber antropogenik seperti aktivitas perindustrian (Zhang dkk., 2008; Rai, 2013). Di daerah perkotaan, kontribusi antropogenik polutan berasal dari lalu lintas kendaraan, pembangkit listrik, pabrik baja, pembakaran kayu, debu, serta fasilitas manufaktur (Carla dkk., 2013). Lalu lintas kendaraan merupakan sumber pencemaran yang penting dan signifikan. Aktivitas lalu lintas menghasilkan materi partikulat atau *particulate matter* (PM), aerosol, dan logam beracun di lingkungan (Rucandio dan Petit-dominguez, 2011). PM dengan ukuran 0,001-100 μm menjadi salah satu kontribusi polusi perkotaan (Taylor dkk., 2012). Emisi PM tersebut berasal dari mesin pembakaran, korosi logam, dan abrasi mekanik bahan jalan, ban, dan sistem rem (Chaparro dkk., 2010). Emisi-emisi ini termasuk besi oksida yang dapat dihirup (bahan ferro dan ferrimagnetik) dan unsur-unsur yang berpotensi beracun (PTE). Namun, yang lebih berbahaya emisi ini terdiri dari mikropartikel hingga nanopartikel yang dapat mencapai organ vital manusia (Maher dkk., 2016; Calderon dkk., 2019). Sekitar 50% dari Total PM berukuran kurang dari 10 μm (PM₁₀) dapat memasuki saluran udara dan area di paru-paru bagian atas (Swarze dkk., 2006). Salah satu dampak partikel polutan di udara adalah dapat menyebabkan gangguan pernapasan (Hansard dkk., 2011). Bahkan untuk partikel yang berukuran < 2.5 μm dapat merusak paru-paru secara langsung (U dan Yin, 2000). Serta penyebab penyakit kardiovaskular (Li dan Qian, 2013; Pope, Ezzati, dan Dockery, 2015). Stres dan gangguan fungsi tubuh adalah masalah utama dari efek kesehatan yang diinduksi oleh PM (Castanheiro dkk., 2019). Sementara efek yang kurang umum termasuk

penurunan kemampuan kognitif dan produktivitas keseluruhan (misalnya peningkatan risiko Alzheimer) (Taylor dkk., 2012; Owalawe dkk., 2014). Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) secara global 9 dari 10 orang menghirup udara melebihi baku mutu kualitas udara (WHO, 2018). Dengan lebih dari 100 kontaminan, beberapa di antaranya bersifat mutagenik dan karsinogenik (misalnya, asam karbonat (CO), karbon dioksida (CO_2), oxynitride (NO_x), hidrokarbon (HC), dan ozon (O_3)) (Chen, Wang, Xia, Chen, dan Fan, 2019). Siklus PM di udara di tunjukan pada gambar 1.



Gambar 1. Siklus PM di udara (Xu, Xia, Gao, dan Zheng, 2020).

Potensi utama sumber pencemaran PM di perkotaan adalah kendaraan bermotor dan industri. PM dapat berasal dari knalpot kendaraan, partikel keausan ban, dan tanah pinggir jalan yang tersuspensi ulang (Leonard, McArthur, dan Hochuli, 2016). Komposisi kimia dari partikel turunan lalu lintas tersebut mengandung sejumlah logam seperti besi (Fe), Mangan (Mn), Tembaga (Cu), Seng (Zn), Nikel (Ni), Barium (Ba), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), Titanium

(Ti), dan Vanadium (V) (Kardel dkk., 2018). Jenis mineral seperti Aluminium Oksida (Al_2O_3), Ferro Oksida (FeO), Ferri Oksida (Fe_2O_3), Kalsium Oksida (CaO) dan karbonat seperti Kalsium Karbonat (CaCO_3), dan Magnesium Karbonat (MgCO_3) juga ditemukan pada partikel yang berasal dari tanah (Gon dkk., 2010).

Secara umum, PM di udara terdiri dari debu dan biomassa yang dihasilkan oleh pembakaran di permukaan tanah sementara emisi aerosol sekunder berasal dari sumber bahan bakar fosil. PM mungkin mengandung unsur-unsur beracun yang dapat ditransfer melalui proses alami hidrosfer dan biota, menempuh jarak lebih jauh dari sumber utama asal PM tidak hanya terkait dengan aktivitas antropogenik, tetapi juga fenomena alam seperti badai debu di gurun dan pengeringan danau maupun sungai (Hajizadeh dkk., 2019) (gambar 1.A).

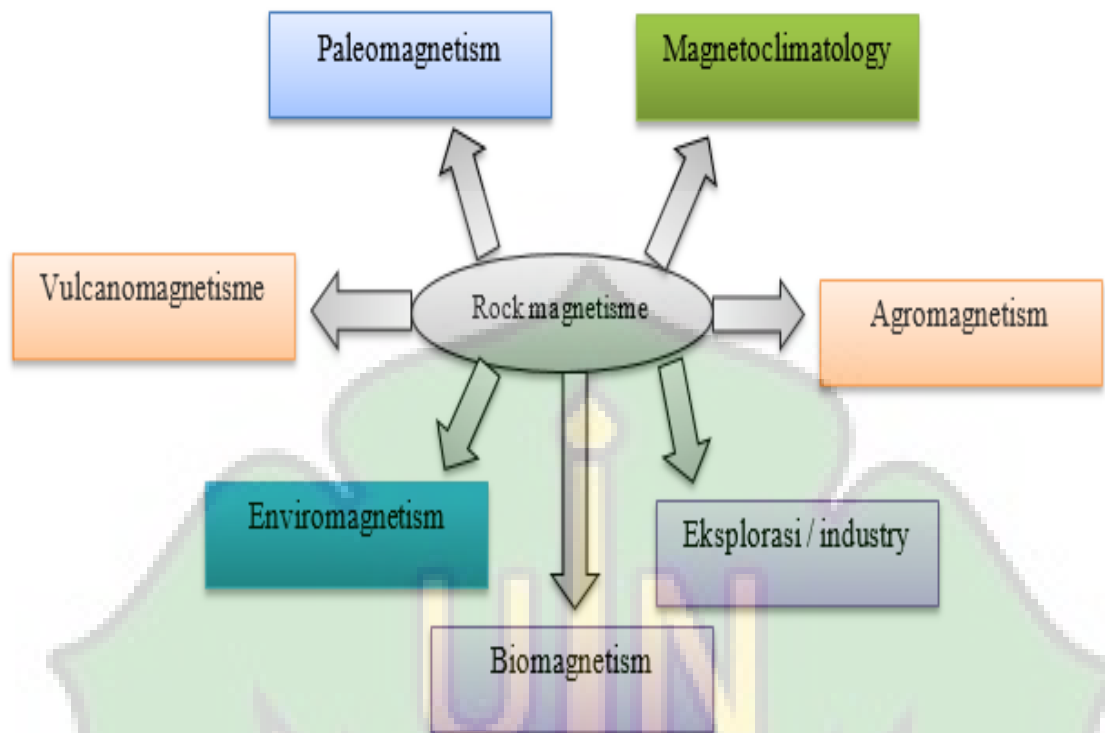
Vegetasi perkotaan meningkatkan kualitas udara dengan mencegat dan menahan PM udara (gambar 1.B). Beberapa PM yang tersisa pada daun dapat membungkus kutikula. Namun, sebagian besar PM udara yang ditangkap oleh tanaman hanya disimpan sementara di permukaan daun dan tersuspensi kembali di udara oleh angin, di mana ia menjadi polutan di udara lagi. Tidak seperti angin, peristiwa hujan dapat menghilangkan PM yang tertahan di permukaan daun melalui proses yang disebut wash-off (gambar 1.C). wash-off membawa PM ke tanah dan menyimpannya ke dalam tanah (gambar 1.D). yang menunjukkan penghilangan bersih PM dari atmosfer oleh tanaman perkotaan (Xu dkk., 2020).

Dalam rangka meminimalisir dan mencegah dampaknya, maka pemantau perlu dilakukan. Metoda pemantauan yang telah ada pada umumnya adalah dengan analisa konsentrasi logam berat melalui metoda kimia seperti Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) dan Inductive Couple Plasma (ICP). Hanya saja dalam skala yang besar dan luas, metoda ini tergolong mahal dan membutuhkan waktu yang relatif lama. Oleh karena itu, penggunaan metoda yang efektif dan cepat merupakan inovasi yang dibutuhkan dalam monitoring lingkungan saat ini. Kebutuhan tersebut juga didasari pada fakta bahwa di kota besar dan daerah perindustrian mengalami perubahan atmosfer yang sangat dinamis.

Metoda magnetik dalam kajian lingkungan dianggap sebagai metoda yang cepat, dan ramah lingkungan (non destruktif) (B. A. Maher, Moore, & Matzka, 2008; Mitchell, Maher, dan Kinnersley, 2010). Sifat magnetik dapat menjadi proksi kehadiran logam berat melalui sifat fisis seperti; jenis mineral, ukuran bulir, konsentrasi kualitatif mineral dan bentuk bulir partikel polutan (Maher dkk., 2008). Atas dasar keunggulan tersebut, metoda kemagnetan juga diterapkan untuk mengkarakterisasi polutan yang terdeposisi di permukaan daun sebagai upaya monitoring lingkungan. Beberapa studi menunjukkan bahwa pengukuran sifat kemagnetan daun memberikan resolusi yang kuat dalam menganalisis penyebaran polutan secara spasial (Sapkota dan Cioppa, 2012). Oleh karena itu metoda kemagnetan dianggap sangat potensial untuk dijadikan sebagai metoda analisa polutan atmosfer di dalam udara melalui pengukuran sifat magnetik daun yang pertama kali dilakukan oleh oleh Matzka, J dan Maher, B.A (1999). Artikel ini bertujuan untuk mengurai dengan singkat teknik tersebut dengan bagian bagian sebagai berikut; metoda kemagnetan yang digunakan dalam analisa, penggunaan daun sebagai reseptor polutan, sifat fisis polutan atmosfer.

2. Metode Kemagnetan Batuan pada Daun

Penelitian terkait kemagnetan batuan telah berkembang secara meluas. Penerapannya mulai merambah pada bidang lain yakni; *magnetoclimatology*, *enviromagnetism*, *industry*, *biomagnetism*, yaitu kajian tentang kemagnetan pada makhluk hidup, agromagnetism dan volcanomagnetism yang ditunjukan pada gambar 2 (Zulaikah, 1967). Pengukuran sifat magnetik pada daun dilakukan pertama kali di tahun (1999) oleh Matzka, J dan Maher, B.A metoda kemagnetan dianggap sangat potensial untuk dijadikan sebagai metoda analisa polutan atmosfer di dalam udara. Berikut metode kemagnetan batuan yang digunakan pada pengukuran magnetik pada daun.



Gambar 2. Diagram Aplikasi Kemagnetan Batuan (Zulaikah 1967).

2.1. Pengukuran Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas magnetik adalah ukuran besarnya respon magnetisasi terhadap medan luar yang diberikan. Parameter suseptibilitas magnetik dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi relatif mineral magnetik pada bahan alamiah (Fabian dkk., 2011). Penggunaan suseptibilitas magnetik telah dianggap efektif dalam kajian mineralogi magnetik tanah (S. Lu, Yu, dan Chen, 2016). Nilai suseptibilitas magnetik berkorelasi positif terhadap konsentrasi mineral ferromagnetik di dalam sampel. Melalui pengukuran suseptibilitas bergantung frekuensi, suseptibilitas magnetik juga dapat memprediksi ukuran bulir magnetiknya (S. G. Lu dan Bai, 2006). Karena nilai suseptibilitas magnetik pada sampel daun tidak sebesar dengan nilai suseptibilitas magnetik batuan atau sedimen, maka koreksi *container* dalam pengukuran menggunakan Bartington Magnetik Susceptibility Meter (MS2) Instrumen merupakan parameter yang signifikan berpengaruh (Quayley dkk., 2010).

2.2. *Ishothermal Remanent Magnetization (IRM)*

IRM adalah magnetisasi remanen yang terisisa setelah sampel diberikan medan 1-1000 mT pada selang waktu yang singkat. IRM merupakan parameter yang dapat menunjukkan karakter domain magnetik. Titik saturasi IRM juga menunjukkan jenis mineral magnetik yang paling dominan. Perbandingan IRM terhadap parameter lainnya juga memberikan informasi jenis sifat magnetik. Melalui perbandingan IRM_{100T}/IRM_{1T} (S-ratio) dapat diperoleh informasi perbedaan antara material ferrimagnetik dan antiferromagnetik. Nilai > 0.7 mengindikasikan sampel didominasi oleh komponen ferrimagnetik, sementara nilai 0.52 dan 0.63 mengindikasikan adanya kehadiran hematite (Hanesch, Scholger, dan Rey, 2003).

Pada studi kasus yang dilakukan oleh Barima dkk (2014) nilai SIRM daun yang dekat dengan daerah perindustrian dan jalan raya lebih tinggi dari pada daerah lainnya. SIRM dan susepibilitas magnetik sangat berkorelasi terhadap kehadiran partikel polutan polutan (Mitchell et al., 2010; S. G. Lu dan Bai, 2006) Menurut Georgeaud dkk (1997) terdapat korelasi yang kuat antara logam Zn, Cd dan Cr terhadap pamater magnetik (suseptibilitas dan IRM) dan berkorelasi lemah untuk unsur Cu, Ni, Pb dan Fe. Paramater IRM dapat dihubungkan dengan karakter daun sebagai reseptor. Akumulasi polutan atmosfer pada daun dipengaruhi oleh karakter daun (Fatemeh Kardel dkk., 2013), sehingga terdapat hubungan antara anatomi, morfologi dan fisiologi daun terhadap hasil SIRM.

2.3. *Anhisteristic Remanent Magnetization (ARM)*

ARM adalah magnetisasi remanen yang dihasilkan oleh kombinasi antara medan bolak balik sekitar 100 mT dan medan searah yang konstan. Dari kurva ARM dapat ditentukan nilai median *destructive field* yang juga dapat digunakan untuk menginterpretasikan domain magnetik dan ukuran bulir. ARM merupakan pengukuran yang sensisitf terhadap kehadiran bulir ferrimagnet *stable single domain* (SSD). Bersama dengan IRM, pengukuran ARM dapat menunjukkan korelasi yang kuat antara IRM dan ARM dengan total kosentrasi Fe (Urbat, Lehndorff, dan Schwark, 2004).

2.4. Termomagnetik

Termomagnetik adalah pengukuran suseptibilitas magnetik pada suhu yang dinaikkan atau diturunkan. Pengukuran magnetisasi bergantung suhu dapat mengidentifikasi jenis mineral berdasar pada titik Curie masing-masing mineral tersebut (Urbat, Lehndorff, dan Schwark, 2004). Namun, mineral magnetik juga dapat diidentifikasi melalui pengukuran suhu rendah. Keberadaan mineral magnetik seperti hematite dapat diidentifikasi melalui melaui transisi Verwey.

2.5 Instrumen Pengukuran

Instrument yang dapat digunakan dalam pengukuran kemagnetan pada daun di tunjukan pada tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1 Metoda pengukuran kemagnetan daun dan instrumennya

Jenis Metoda/ Pengukuran	Peralatan	Penulis
SIRM	✓ Molspin Minispin Magnetometer ✓ (Molspin, Ltd,UK)	Mitchel dkk., 2010, Kardel dkk., 2012, Barima dkk., 2014
Suseptibilitas Magnetik berbasis massa	✓ Agico MFK1-FA Kappabridge (976 Hz dan 15.616 Hz) ✓ Magnetic Susceptibility KLY-3 Kappabridge (AGICO) pada 875 Hz. ✓ BartingtonSusceptibility Meter	Cao dkk., 2014 Blaha dkk., 2008 Quayle dkk., 2010
Suseptibilitas Magnetic berbasis volume	✓ Geofyzika KLY 2 Kappabridge ✓ AGICO KLY-2 Kappabridge	Hanesch dkk., 2003 Lehndorf dkk., 2006, Urbath dkk., 2004
IRM	✓ Magnetometer MPM9 ✓ Molspin Minispin magnetometer	Mitchel, dkk., 2010

	✓ Molpin Pulse Magnetiser ✓ Digico spinner magnetometer (Molyneux-Newcastle) ✓ C-SQUID magnetometer	Maier, dkk., 2008 Hanesch, dkk., 2003 Lehndorff dkk., 2006
ARM	✓ Molspin demagnetiser with ARM attachment ✓ C-SQUID magnetometer	Mitchel dkk., 2010 Lehndorff dkk., 2006

3. Biomonitoring Melalui Sifat Magnetik pada Daun

Pemantauan biomagnetik adalah aplikasi yang berkembang di bidang magnetisme lingkungan, yaitu penggunaan pengukuran magnetik untuk mempelajari sistem lingkungan. Analisis objek biologis untuk kepentingan monitoring lingkungan disebut sebagai biomonitoring. Secara umum biomonitoring merupakan pemantauan objek biologis (biomonitor) dengan menggunakan organisme untuk memperoleh informasi secara kuantitatif tentang karakteristik biosfer tertentu (Al-Alam dkk., 2019). Salah satu objek biologis yang telah digunakan dalam biomonitoring ialah daun tanaman (Kletetschka, Zila, dan Wasilewski, 2003). Daun merupakan bagian dari tanaman yang menyerap debu dan persisten pada lingkungan tercemar. Daun juga bertindak sebagai reseptor polusi serta dapat mengurangi konsentrasi debu udara. Daun berpotensi sebagai reseptor dan biomonitor yang efisien khususnya untuk logam berat (Rai, 2013). Daun tanaman telah terbukti sebagai kolektor polusi partikulat. Biomonitoring polusi partikulat melalui sifat magnetik daun tanaman adalah alternatif yang andal, cepat dan murah untuk teknik pemantauan polutan di lingkungan (Rai Dan Chutia, 2014).

Prinsip utama dari biomonitoring dengan daun adalah: pengambilan daun yang mendeposisi polutan yang kemudian partikel terdepositasi, tertranslokasi, dan terakumulasi di dalam atau di permukaan jaringan dikarakterisasi sifat

magnetiknya. Objek biomonitoring dapat berupa lumut kerak (lichine), lumut (moose), dan pohon (trees) (Fabian dkk., 2011; Winkler dkk., 2003; Geldor, R, dkk., 2003), termasuk kulit pohon (Gargiulo, J, D, dkk., 2020), tumbuhan runjung atau jarum (Al-Alam dkk., 2017). Metoda ini telah digunakan pada beberapa kepentingan diantaranya karakterisasi polutan di daerah pekotaan (Fatemeh Kardel dkk., 2013) karakterisasi pencemaran debu (fly ash) di daerah perkotaan (C. Zhang dkk., 2008), pencemaran karena pembangkit listrik (Blaha dkk., 2008), karakterisasi polutan atmosfer pada permukaan tanah (Blundell dkk., 2009), karakterisasi polutan atmosfer dari daun tepi jalan (Rai, 2013), dan karakterisasi polutan atmosfer dari erupsi gunung api (Quayle dkk., 2010). Keunggulan penggunaan daun sebagai reseptor polutan adalah: (i) Polutan yang terdeposisi di permukaan daun lebih merepresentasikan keadaan lingkungan yang sebenarnya pada masa analisa dibandingkan dengan pengambilan sampel dari permukaan tanah. (ii) Kecilnya kemungkinan tercampurnya partikel litogenik dan antropogenik (Hanesch, M. Scholger, R. dan Rey, 2003) (iii) Daun merupakan pengumpul polutan yang sangat efektif karena kemampuannya dalam mengumpulkan sampel dalam jumlah banyak dan menjangkau ketinggian tertentu. (iv) Pengumpulan polutan pada daun bukanlah teknik yang dapat menyisakan masalah lingkungan (B. A. Maher dkk., 2008)

Banyaknya polutan yang terdeposisi atau terakumulasi di permukaan daun dipengaruhi oleh beberapa parameter, diantaranya adalah: aerodinamika angin, karakter daun reseptor, ketinggian vegetasi dan model partikel polutannya Janhall, 2015). Karakter daun dapat berupa kerapatan stomata, morfologi, luas daun, kadar air, dan kandungan klorofil (Fatemeh Kardel dkk., 2013). Oleh karena itu, pengambilan sampel haruslah memenuhi unsur berikut: (i) tidak turun hujan dalam waktu tertentu, (ii) tidak terdapat pergerakan angin kencang, (iii) ukuran daun (iv) kekasaran daun yang sebaiknya homogen untuk semua sampel, (v) dan ketinggian daun. Struktur multi-lapis dengan kerapatan tajuk tinggi ditemukan lebih efisien dari pada struktur lapis tunggal dengan kerapatan kanopi rendah (P. qian Zhang dkk., 2016)

3.1 Pendekatan Biomonitoring

Keterbatasan Teknologi yang ada: partikel debu dapat dihilangkan dari atmosfer melalui pengendapan basah ataupun kering. Menurut Mitchell dkk (2010) nilai PM10 yang diturunkan dari kendaraan akan menurun dengan bertambahnya jarak dari jalan raya dan juga dengan meningkatnya ketinggian. Sehingga penggunaan pemantauan stasiun konvensional bukanlah pilihan untuk pemantauan polusi partikulat karena jarak yang jauh dari daerah pemukiman dan tingginya melebihi 3 m.

3.2 Biomonitoring dan pemantauan biomagnetik partikulat

Keuntungan: Meskipun, ada banyak perangkat konvensional (fisik dan kimia) untuk penilaian polusi udara, namun biomonitoring adalah alat yang efisien. Pemantau biologi adalah organisme yang memberikan informasi kuantitatif pada beberapa aspek lingkungannya, seperti berapa banyak polutan yang ada. Dalam hal ini, kapasitas pembersihan udara dari pohon perkotaan menyajikan pendekatan alternatif untuk mendorong pendekatan terpadu untuk pengelolaan berkelanjutan ekosistem perkotaan. Biomonitoring pencemaran debu dan dampak biokimianya telah menarik perhatian komunitas ilmiah nasional dan internasional. Secara internasional, penghitungan dan penilaian jasa ekosistem yang baik telah menarik banyak perhatian selama dekade terakhir (Rai, 2013). Selain penerapan teknologi maju dalam pencegahan dan perbaikan, pilihan untuk menggunakan mekanisme pemantauan alami dilakukan untuk mengurangi efek ekologis. Keuntungan utama dari penggunaan tanaman sebagai biomonitor adalah bahwa mereka tersebar luas memberikan kepadatan titik pengambilan sampel yang tinggi (Winkler dkk., 2003). Selain itu, metode yang paling ekonomis dan masuk akal untuk biomonitoring kadar logam berat di atmosfer adalah menggunakan tumbuhan khususnya pada daun.

Pemantauan biomagnetik, menggunakan daun pohon sebagai permukaan sampling, dapat menghasilkan data resolusi spasial tinggi untuk PM10. Karena, polutan atmosfer juga terdiri dari campuran partikel magnetik yang kompleks, yang berasal dari kotoran besi dalam bahan bakar, pemantauan biomagnetik

melalui daun tanaman sangat relevan (Hansard dkk., 2011). Selain itu, daun pohon banyak jumlahnya dan karenanya mudah untuk diambil sampelnya. Selain itu, lumut kerak dan lumut mungkin kurang melimpah di daerah perkotaan yang sangat tercemar dan juga memiliki iklim khusus tidak seperti daun tanaman pohon. Oleh karena itu, tumbuhan tingkat tinggi di daerah perkotaan sebagian besar cocok untuk memantau polusi debu karena lumut kerak dan lumut sulit ditemui. Selain itu, teknik magnet, menggunakan permukaan alami sebagai pengumpul pasif polusi partikulat, merupakan alat yang sensitif dan cepat (Mitchell dkk., 2010). Berikut beberapa penelitian biomagnetik pada daun sebagai reseptor polutan ditunjukkan pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Penelitian sifat magnetik menggunakan daun

No.	Spesies	Area	Referensi
1.	Beech (<i>Fagus sylvatica</i>)	Industri, jalan raya	Hansard dkk., 2011; Mitchell dkk., 2010; Wagh dkk., 2006
2.	Birch (<i>Betula pendula</i>)	Perkebunan, jalan raya	Matzka dan Maher, 1999; B. A. Maher dkk, 2008
3.	Elder (<i>Sambucus nigra</i>)	Industri, jalan raya	Hansard dkk., 2011; Mitchell dkk., 2010
4.	Ash (<i>Fraxinus exelnior</i>)	Industri, jalan raya	Hansard dkk., 2011; Mitchell dkk., 2010; Barima dkk., 2014
5.	Peepal (<i>Ficus religiosa</i>),	Jalan raya	Wagh dkk., 2006
6.	Field maple (<i>Acer campestre</i>)	Industri	Hansard dkk., 2011

7.	Poaceae (<i>Panicum maximum</i>) Poaceae (<i>Eleusine indica</i>) Moraceae (<i>Ficus benjamina</i>)	Industri, taman, pemukiman, dan jalan raya	Hansard dkk., 2011
8.	(<i>Castanea sativa</i>)	Pegunungan	Quayley dkk., 2010
9.	(<i>Carpinus betulus</i>)	Perkotaan, industri	Kardel dkk., 2020
10.	(<i>Quercus ilex</i>)	Jalan raya	Winkler dkk., 2003

Berdasarkan tabel 2 penelitian terdahulu telah dilakukan menggunakan beberapa spesies daun. Untuk lebih memahami terkait persiapan pengambilan sampel maka dapat dilakukan dengan cara berikut ini.

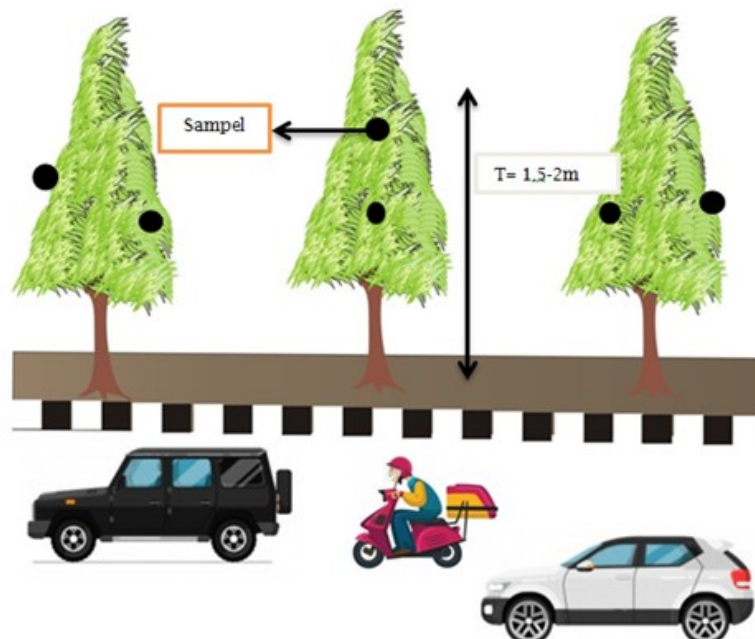
3.3 Partikel polutan terdeposisi atau terserap

Pengambilan daun berangkat dari harapan bahwa pada permukaannya terdapat partikel polutan magnetik yang terdeposisi atau terperangkap ke dalam stomata (Urbath dkk., 2004). Mekanisme daun menyerap mineral magnetik serupa dengan mekanisme bakteri memproduksi magnetite. Mekanisme biologis semacam ini memungkinkan daun mengandung mineral magnetik meskipun partikel yang terdeposisi telah dibersihkan. Meskipun demikian, berdasarkan hasil-hasil yang telah ada; partikel polutan yang terdeposisi di permukaan daun lebih banyak dari pada yang masuk ke dalam struktur daun dan menjadi material biogenik (Mitchell dkk., 2010)

3.4 Teknik Pengambilan Sampel

Agar informasi yang diperoleh lebih lengkap dari segi efektifitas berdasarkan spesies, maka pengambilan sampel dapat dilakukan dalam tahapan: (i) pengambilan sampel dari lokasi yang sama akan tetapi dengan spesies yang

bervariasi, atau (ii) pengambilan sampel dilakukan pada lokasi yang berbeda hanya saja menggunakan spesies-spesies yang sama (Winkler dkk., 2003). (dapat dilihat pada gambar 3). Untuk pengukuran sifat kemagnetan (partikel) daun pengambilan sampel dilakukan dengan memperhatikan hal-hal berikut: (i) Pengambilan sampel dilakukan dengan memastikan bahwa tidak terjadi hujan sebelum dilakukan pengambilan sampel. Berdasarkan Mitchell dkk (2010) waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya kesetimbangan antara polutan yang terdeposisi dan partikel yang hilang adalah enam hari. Sebaiknya variabel-variabel yang mempengaruhi pengukuran secara signifikan juga dikur seperti kecepatan angin, kelembaban, dan temperatur (Barima dkk., 2014). (ii) ketinggian pengambilan sampel daun sekitar 1,5-2 m diatas permukaan tanah (Hermawan, Usmana, Asrullah, dan Rasetyo, 2011; Rahmadhani dkk., 2019). Namun menurut F. Kardel dkk (2012) untuk pengambilan sampel polutan di perkotaan pengambilan sampel daun 2-4 m di atas permukaan tanah dilakukan untuk meminimalkan kontaminasi langsung oleh debu tanah.



Gambar 3. Tata letak Pengambilan sampel

(iii) Daun yang memiliki trichome di permukaannya harus dipisahkan dengan yang tidak memiliki trichome, sebab daun yang memiliki “rambut” memiliki kecepatan deposisi yang lebih cepat dari pada daun yang tak berambut (Mitchell dkk., 2010; F. Kardel dkk., 2012). (iv) Jumlah daun yang diambil pada setiap titik pengambilan sampel minimal sebanyak enam lembar (F. Kardel dkk., 2012). Namun menurut Hanesch dkk (2003) daun diambil sebaiknya lebih dari tujuh helai yang menghadap ke jalan (jika untuk kepentingan pengukuran polutan dari lalu lintas). (v) Daun segar tersebut diukur luas permukaannya menggunakan pengukur luas area daun (dapat dilakukan dengan Li-300) (F. Kardel dkk., 2012) atau dapat juga dengan pindai citra melalui komputer lalu dihitung luasnya dengan metoda piksel (Hanesch dkk., 2003) dengan menggunakan software LEAVES (Quayle dkk., 2010). (vi) Daun di keringkan menggunakan oven pada temperatur 40^o C selama 3-4 hari (Barima dkk., 2014). Namun, metoda preparasi oleh Hanesch (2003) dilakukan tanpa pengeringan dan pengukuran dilakukan sehari setelah dilakukan pengambilan sampel (F. Kardel dkk., 2012; F Kardel dkk., 2020; Hanesch dkk., 2003). Sementara itu, untuk memperoleh sifat magnetik polutan yang terperangkap di dalam stomata atau yang telah menjadi biogenik, partikel yang terdeposisi dibersihkan dengan metoda ultrasonik (Urbat dkk., 2004).

4. Sifat Fisis Polutan Atmosfer

Kehadiran partikel magnetik berkemampuan remanen (termasuk partikel antropogenik) di udara, tanah, sedimen, bebatuan, dan organisme yang ada di mana-mana memberikan kesempatan untuk mengidentifikasi dan mengukur bentuk, sumber, pengangkutan, dan pengendapan partikel (Hofman dkk., 2017). Sebagai contoh, didalam tanaman dan tanah, mineral magnetik yang terdeteksi meliputi oksida besi (magnetite, maghemite dan hematite), oksihidroksida (goethite) dan sulfide (greigite). Greigite hanya dapat ditemukan di lingkungan yang mereduksi (anoksik) seperti lumpur muara dimana bahan-bahan organik akan di konsumsi oleh bakteri tanpa adanya oksigen (anaerob). Secara alami mineral magnetik yang terkuat adalah magnetite dan maghemite, sementara hematit dan goetit secara magnetis jauh lebih lemah. Kandungan mineral adalah

biomarker yang dapat diukur dan sifat yang dapat membuat perbedaan antara daun yang hidup di lingkungan yang tidak tercemar atau di lingkungan yang terpengaruh oleh lalu lintas perkotaan. (Ianovici, Batalu, Hriscu, dan Datcu, 2020).

Sifat magnetik menjadi relevan dalam analisa tingkat pencemaran karena sebagian besar polutan udara: (i) memiliki porsi mineral magnetik dari mineral ferrimagnetik (ii) mineral tersebut dapat berupa Fe-oksida yakni; Fe-oksida (magnetite, Fe_3O_4 ; maghemite, $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$; hematite, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), Fe-hidroksida (goethite, $\alpha\text{-FeOOH}$) serta Fe-sulfida (pyrrhotite, Fe_7S_8 ; greigite, Fe_3S_4). (ii) Mineral magnetik biasanya membawa kation penyerta seperti Ni, Co, Cr, Ti, Al, dan Mg (Hoffmann, Knab, & Appel, 1999). Namun, sifat magnetik dari polutan, tidak hanya ditentukan oleh komposisi dan konsentrasi mineral magnetik yang dikandungnya, namun juga ditentukan oleh ukuran bulir dan bentuk bulirnya. Studi-studi sementara menunjukkan bahwa parameter kerentanan magnetik tampaknya menjadi indikator yang sesuai untuk polusi terkait lalu lintas. Partikel yang dipancarkan dari kendaraan adalah buangan jelaga dan partikel padat dari ban, kampas rem, korosi mesin, dan gesekan permukaan kendaraan (Marie dkk., 2018).

Partikel polutan antropogenik dari aktivitas perkotaan mengandung logam-logam beracun seperti Fe, Pb, Zn, Zr, Ti, V, Ba, Mn, Cd, Sb dan Cr (B. A. Maher dkk., 2008). Kehadiran logam tersebut dapat menjadi sinyal magnetik atau sama sekali tidak. Menjadi sinyal magnetik jika keberadaannya menjadi “batu bata” dalam kisi kristal mineral magnetik dan bukan menjadi sinyal magnetik jika yang terjadi adalah sebaliknya. Jika tidak di dalam kisi kristal, maka logam-logam tersebut dapat berasosiasi tanpa ikatan kimia atau hanya sebagai penyerta. Sebagai contoh, Pb yang dihasilkan dari sisa bahan bakar kendaraan bermotor (Matzka dan Maher, 1999). hanya menjadi penyerta dan berasosiasi dengan bulir-bulir magnetik, sehingga terdapat korelasi antara konsentrasi Pb dan sifat magnetik (B. A. Maher dkk., 2008; Bautista dkk., 2013; Karimi dkk., 2011). Penelitian telah menunjukkan bahwa PM perkotaan juga dapat mengandung partikel magnetik yang berasal berasal dari adanya zat pengotor dalam bahan bakar, yang terbentuk

setelah pembakaran residu yang tidak mudah menguap, seringkali berupa campuran dari magnet yang sangat kuat (seperti magnetite) dan magnet yang lemah oksida besi (seperti hematite). Magnetite telah diidentifikasi secara spesifik sebagai komponen yang diturunkan dari knalpot kendaraan bahan Terlepas dari emisi kendaraan, sumber-sumber alami lainnya (debu batu, debu jalan, sedimen, dll.) juga dapat berkontribusi terhadap mineral magnetik di atmosfer (Lehndorff dan Schwark, 2008).

Sifat fisis bulir tersebut sangat bergantung pada proses terbentuknya. Sebagai contoh, bentuk bulir dari industri bergantung pada jenis bahan bakar dan temperatur pembakaran. Bulir magnetik yang muncul dapat berupa bulir-bulir halus (*fine particle*) spherical atau bulir dengan bentuk yang tak beraturan dengan mineral magnetite dan hematite (Winkler dkk., 2003). Dari segi ukuran, berdasarkan partikel pembawa (barier) besi polutan dari proses pembakaran berukuran $> 2,5 \mu\text{m}$, di daerah perindustrian ukuran bulir magnetik dapat mencapai ukuran $< 10 \mu\text{m}$ (C. Zhang dkk., 2008). Di tepi jalan berukuran $< 1 \mu\text{m}$ (B. A. Maher dkk., 2008). Sementara Urbat dkk (2004) mengidentifikasi bahwa ukuran partikel polutan mencapai $30 \mu\text{m}$. Menurut Sapkota dan Cioppa (2012) partikel polutan yang kaya besi biasanya berukuran antara $0,1 - 5 \mu\text{m}$. Partikel polutan tersebut akan berdampak serius pada kesehatan jika berukuran $< 2,5 \mu\text{m}$ (Matzka & Maher, 1999). Ukuran dan bentuk bulir selanjutnya mempengaruhi domain magnetiknya. Domain magnetik yang terbentuk dapat berupa multi domain atau superparamagnetik (Hanesch dkk., 2003; C. Zhang dkk., 2008).

5. Kesimpulan

Monitoring pencemaran udara dapat dilakukan dengan analisa partikel yang terdeposisi di permukaan atau terabsorpsi dalam jaringan daun. Analisa tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan metoda magnetik. Metoda yang dapat digunakan adalah: pengukuran suseptibilitas magnetik, IRM, ARM dan termomagnetik. Banyaknya polutan yang terdeposisi atau terakumulasi di permukaan daun dipengaruhi oleh beberapa parameter, diantaranya adalah: aerodinamika angin, karakter daun reseptor, ketinggian vegetasi dan model

partikel polutannya. Karakter daun dapat berupa kerapatan stomata, morfologi, luas daun, kadar air, dan kandungan klorofil.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksu, A. (2015). Sources of metal pollution in the urban atmosphere (A case study: Tuzla, Istanbul). *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0224-9>
- AL-Alam, J., Chbani, A., Faljoun, Z., & Millet, M. (2019). The use of vegetation, bees, and snails as important tools for the biomonitoring of atmospheric pollution—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(10), 9391–9408. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04388-8>
- Al-Alam, J., Fajloun, Z., Chbani, A., & Millet, M. (2017). The use of conifer needles as biomonitor candidates for the study of temporal air pollution variation in the Strasbourg region. *Chemosphere*, 168, 1411–1421. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.103>
- Barima, Y. S. S., Angaman, D. M., N’Gouran, K. P., Koffi, N. A., Kardel, F., De Cannière, C., & Samson, R. (2014). Assessing atmospheric particulate matter distribution based on Saturation Isothermal Remanent Magnetization of herbaceous and tree leaves in a tropical urban environment. *Science of the Total Environment*, 470–471(2014), 975–982. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.082>
- Bautista, F., Cejudo, R., Zapata-Carbonell, G., Cortés, J. L., Quintana, P., Aguilar, D., ... Gogichaishvili, A. (2013). Magnetic Parameters and Their Relationship With Heavy Metals in Urban Dusts of Mexico City. *Latinmag Letters*, 3(06), 1–5.
- Blaha, U., Sapkota, B., Appel, E., Stanjek, H., & Rösler, W. (2008). Micro-scale grain-size analysis and magnetic properties of coal-fired power plant fly ash and its relevance for environmental magnetic pollution studies. *Atmospheric Environment*, 42(36), 8359–8370. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv>

2008.07.051.

- Blundell, A., Hannam, J. A., Dearing, J. A., & Boyle, J. F. (2009). Detecting atmospheric pollution in surface soils using magnetic measurements: A reappraisal using an England and Wales database. *Environmental Pollution*, 157(10), 2878–2890. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.02.031>
- Cai, K., Li, C., & Na, S. (2019). Spatial distribution, pollution source, and health risk assessment of heavy metals in atmospheric depositions: A case study from the sustainable city of Shijiazhuang, China. *Atmosphere*, 10(4), 11–14. <https://doi.org/10.3390/ATMOS10040222>
- Calderón-Garcidueñas, L., González-Maciel, A., Mukherjee, P. S., Reynoso-Robles, R., Pérez-Guillé, B., Gayosso-Chávez, C., ... Maher, B. A. (2019). Combustion- and friction-derived magnetic air pollution nanoparticles in human hearts. *Environmental Research*, 176(June), 108567. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108567>
- Carla, T., Moreira, L., Carvalho, R., Oliveira, D., Fernando, L., Amato, L., ... Saiki, M. (2016). Intra-urban biomonitoring: Source apportionment using tree barks to identify air pollution sources. *Environment International*, 91, 271–275. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.03.005>
- Castanheiro, A., Hofman, J., Nuyts, G., Joosen, S., Spassov, S., Lenaerts, S., ... Samson, R. (2019). Leaf accumulation of atmospheric dust: Biomagnetic, morphological and elemental evaluation using SEM, ED-XRF and HR-ICP-MS. *Atmospheric Environment*, 117082. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117082>
- Chaparro, M. A. E., Marié, D. C., Gogorza, C. S. G., Navas, A., & Sinito, A. M. (2010). Magnetic studies and scanning electron microscopy - X-ray energy dispersive spectroscopy analyses of road sediments, soils and vehicle-derived emissions. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 54(4), 633–650. <https://doi.org/10.1007/s11200-010-0038-2>

- Chen, H., Wang, B., Xia, D., Chen, H., & Fan, Y. (2019). *Magnetic characteristics of Juniperus formosana needles along an urban street in Lanzhou , Northwest China: the variation of different season and orientation*. 21964–21971.
- Denier van der Gon, H., Jozwicka, M., Hendriks, E., Gondwe, M., & Schaap, M. (2010). Mineral Dust as a component of particulate matter. *PBL Netherlands Environmental Assesment Agency*, 160. Retrieved from <https://www.pbl.nl/en/publications/Mineral-Dust-component-particulate-matter>
- Fabian, K., Reimann, C., McEnroe, S. A., & Willemoes-Wissing, B. (2011). Magnetic properties of terrestrial moss (*Hylocomium splendens*) along a north-south profile crossing the city of Oslo, Norway. *Science of the Total Environment*, 409(11), 2252–2260. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.018>
- Gargiulo, J. D., Lavernia, J. M., Natal, M., & Böhnelt, H. N. (2020). Fine air pollution particles trapped by street tree barks: In situ magnetic biomonitoring. *Environmental Pollution*, 115229. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115229>
- Georgeaud, V. M., Rochette, P., Ambrosi, J. P., Vandamme, D., & Williamson, D. (1997). Relationship between heavy metals and magnetic properties in a large polluted catchment: The Etang de Berre (South of France). *Physics and Chemistry of the Earth*, 22(1-2 SPEC. ISS.), 211–214. [https://doi.org/10.1016/s0079-1946\(97\)00105-5](https://doi.org/10.1016/s0079-1946(97)00105-5)
- Gerdol, R., Marchesini, R., Iacumin, P., & Brancaleoni, L. (2014). Monitoring temporal trends of air pollution in an urban area using mosses and lichens as biomonitors. *Chemosphere*, 108, 388–395. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.02.035>
- Hajizadeh, Y., Mokhtari, M., Faraji, M., Abdollahnejad, A., & Mohammadi, A. (2019). Biomonitoring of airborne metals using tree leaves: Protocol for

- biomonitor selection and spatial trend. *MethodsX*, 6, 1694–1700. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.07.019>
- Hanesch, M., Scholger, R., & Rey, D. (2003). Mapping dust distribution around an industrial site by measuring magnetic parameters of tree leaves. *Atmospheric Environment*, 37(36), 5125–5133. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.07.013>
- Hansard, R., Maher, B. A., & Kinnersley, R. (2011). Biomagnetic monitoring of industry-derived particulate pollution. *Environmental Pollution*, 159(6), 1673–1681. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.02.039>
- Hermawan, R. A. H., Usmana, C. E. K., Asrullah, N. I. N., & Rasetyo, L. I. B. U. D. I. P. (2011). *JERAPAN DEBU DAN PARTIKEL TIMBAL (Pb) OLEH DAUN BERDASARKAN LETAK POHON DAN POSISI TAJUK : STUDI KASUS JALUR HIJAU Acacia mangium , JALAN TOL JAGORAWI (Adsorption of Dust and Pb Particles By Leaves Based on Location of Trees and Position of Crowns : Ca. 16(3), 101–107.*
- Hoffmann, V. L., Knab, M., & Appel, E. (1999). *Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution. 66, 313–326.*
- Hofman, J., Maher, B. A., Muxworthy, A. R., Wuyts, K., Castanheiro, A., & Samson, R. (2017). *review of magnetic signatures from biological sensors Biomagnetic monitoring of atmospheric pollution : a review of magnetic signatures from biological sensors.*
- Ianovici, N., Batalu, A., Hriscu, D., & Datcu, A. D. (2020). Phytomonitoring study on intra urban variations of leaves of some evergreen and deciduous trees. *Ecological Indicators*, 114(September 2019), 106313. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106313>
- Idrees, Z., & Zheng, L. (2020). Low cost air pollution monitoring systems: A review of protocols and enabling technologies. *Journal of Industrial Information Integration*, 17, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2019.100123>

- Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution - Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105, 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052>
- Kardel, F., Wuyts, K., Maher, B. A., & Samson, R. (2012). Intra-urban spatial variation of magnetic particles: Monitoring via leaf saturation isothermal remanent magnetisation (SIRM). *Atmospheric Environment*, 55(2012), 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.03.025>
- Kardel, F., Wuyts, K., Maher, B. A., Hansard, R., & Samson, R. (2020). Leaf saturation isothermal remanent magnetization (SIRM) as a proxy for particulate matter monitoring : Inter-species differences and in-season variation. *Atmospheric Environment*, 45(29), 5164–5171. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.025>
- Kardel, Fatemeh, Wuyts, K., De Wael, K., & Samson, R. (2018). Biomonitoring of atmospheric particulate pollution via chemical composition and magnetic properties of roadside tree leaves. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(26), 25994–26004. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2592-z>
- Kardel, Fatemeh, Wuyts, K., Khavaninzadeh, A. R., Wuytack, T., Babanezhad, M., & Samson, R. (2013). Comparison of leaf saturation isothermal remanent magnetisation (SIRM) with anatomical, morphological and physiological tree leaf characteristics for assessing urban habitat quality. *Environmental Pollution*, 183(2013), 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.11.030>
- Karimi, R., Ayoubi, S., Jalalian, A., Sheikh-Hosseini, A. R., & Afyuni, M. (2011). Relationships between magnetic susceptibility and heavy metals in urban topsoils in the arid region of Isfahan, central Iran. *Journal of Applied Geophysics*, 74(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2011.02.009>
- Kletetschka, G., Žila, V., & Wasilewski, P. J. (2003). Magnetic anomalies on the tree trunks. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 47(2), 371–379. <https://doi.org/10.1023/A:1023779826177>

- Kumar Rai, P., & Moni Chutia, B. (2014). Biomagnetic monitoring of Atmospheric particulate Pollution through Roadside tree leaves in Aizawl city, Mizoram and their temporal and spatial variations. *International Research Journal of Environment Sciences ISSN Int. Res. J. Environment Sci*, 3(8), 2319–1414.
- Lehndorff, E., & Schwark, L. (2008). Accumulation histories of major and trace elements on pine needles in the Cologne Conurbation as function of air quality. *Atmospheric Environment*, 42(5), 833–845. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.10.025>
- Leonard, R. J., McArthur, C., & Hochuli, D. F. (2016). Particulate matter deposition on roadside plants and the importance of leaf trait combinations. *Urban Forestry and Urban Greening*, 20, 249–253. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.008>
- Li, H., & Qian, X. (2013). *U* © 2013. 13210–13211.
- Lu, S. G., & Bai, S. Q. (2006). Study on the correlation of magnetic properties and heavy metals content in urban soils of Hangzhou City, China. *Journal of Applied Geophysics*, 60(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2005.11.002>
- Lu, S., Yu, X., & Chen, Y. (2016). Science of the Total Environment Magnetic properties , microstructure and mineralogical phases of technogenic magnetic particles (TMPs) in urban soils: Their source identification and environmental implications. *Science of the Total Environment*, The, 543, 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.046>
- Maher, B. A., Moore, C., & Matzka, J. (2008). Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves. *Atmospheric Environment*, 42(2), 364–373. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.09.013>
- Maher, Barbara A, Ahmed, I. A. M., Karloukovski, V., Maclaren, D. A., & Foulds, P. G. (2016). *Magnetite pollution nanoparticles in the human brain*.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1605941113>

- Marié, D. C., Chaparro, M. A. E., Lavornia, J. M., Sinito, A. M., Castañeda Miranda, A. G., Gargiulo, J. D., ... Böhnel, H. N. (2018). Atmospheric pollution assessed by in situ measurement of magnetic susceptibility on lichens. *Ecological Indicators*, 95(August), 831–840. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.029>
- Matzka, J., & Maher, B. A. (1999). Magnetic biomonitoring of roadside tree leaves: Identification of spatial and temporal variations in vehicle-derived particulates. *Atmospheric Environment*, 33(28), 4565–4569. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00229-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00229-0)
- Mitchell, R., Maher, B. A., & Kinnersley, R. (2010). Rates of particulate pollution deposition onto leaf surfaces : Temporal and inter-species magnetic analyses. *Environmental Pollution*, 158(5), 1472–1478. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.12.029>
- Olawale, M., Alkhaja, K., Sulayem, M. Bin, & Abu-hijleh, B. (2014). Evaluation of indoor environmental quality conditions in elementary schools ' classrooms in the United Arab Emirates. *Frontiers of Architectural Research*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2014.03.001>
- Pope, C. A., Ezzati, M., & Dockery, D. W. (2015). Tradeoffs between income , air pollution and life expectancy : Brief report on the US experience , 1980 – 2000. *Environmental Research*, 142, 591–593. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.08.014>
- Quayle, B. M., Mather, T. A., Witt, M. L. I., Maher, B. A., Mitchell, R., Martin, R. S., & Calabrese, S. (2010). Application and evaluation of biomagnetic and biochemical monitoring of the dispersion and deposition of volcanically-derived particles at Mt. Etna, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 191(1–2), 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.01.004>

- Rahmadhani, S., Yuwono, S. B., Setiawan, A., & Banuwa, I. S. (2019). *BANDAR LAMPUNG Selection of Tree Species to Absorb Dust in The Median of The City of Bandar Lampung*. 2(2).
- Rai, P. K. (2013). Environmental magnetic studies of particulates with special reference to biomagnetic monitoring using roadside plant leaves. *Atmospheric Environment*, 72, 113–129. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.02.041>
- Rodríguez-Germade, I., Mohamed, K. J., Rey, D., Rubio, B., & García, Á. (2014). The influence of weather and climate on the reliability of magnetic properties of tree leaves as proxies for air pollution monitoring. *Science of the Total Environment*, 468–469, 892–902. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.009>
- Rucandio, M. I., & Petit-domínguez, M. D. (2011). *Biomonitoring of chemical elements in an urban environment using arboreal and bush plant species*. 51–63. <https://doi.org/10.1007/s11356-010-0350-y>
- Salam, A., Hossain, T., Siddique, M. N. A., & Shafiqul Alam, A. M. (2008). Characteristics of atmospheric trace gases, particulate matter, and heavy metal pollution in Dhaka, Bangladesh. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 1(2), 101–109. <https://doi.org/10.1007/s11869-008-0017-8>
- Sapkota, B., & Cioppa, M. T. (2012). Using magnetic and chemical measurements to detect atmospherically-derived metal pollution in artificial soils and metal uptake in plants. *Environmental Pollution*, 170, 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.06.010>
- Schwarze, P. E., Refsnes, M., Nafstad, P., Hetland, R. B., & Dybing, E. (2006). *Human & Experimental Toxicology Particulate matter properties and health effects: consistency of epidemiological and toxicological studies*. <https://doi.org/10.1177/096032706072520>

- Taylor, P., Iii, C. A. P., Dockery, D. W., Iii, C. A. P., Dockery, D. W., & Dockery, D. W. (2012). *Journal of the Air & Waste Management Health Effects of Fine Particulate Air Pollution : Lines that Connect Health Effects of Fine Particulate Air Pollution : Lines that Connect*. (July 2013), 37–41. <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>
- U, R. M. H., & Yin, J. (2000). *Particulate matter in the atmosphere : which particle properties are important for its effects on health ?*
- Urbat, M., Lehndorff, E., & Schwark, L. (2004). Biomonitoring of air quality in the Cologne conurbation using pine needles as a passive sampler - Part I: Magnetic properties. *Atmospheric Environment*, 38(23), 3781–3792. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.03.061>
- Wagh, N. D., Shukla, P. V., Tambe, S. B., & Ingle, S. T. (2006a). Biological monitoring of roadside plants exposed to vehicular pollution in Jalgaon city. *Journal of Environmental Biology*, 27(2 SUPPL.), 419–421.
- Wagh, N. D., Shukla, P. V., Tambe, S. B., & Ingle, S. T. (2006b). Biological monitoring of roadside plants exposed to vehicular pollution in Jalgaon city. *Journal of Environmental Biology*, 27(2 SUPPL.), 419–421.
- Winkler, A., Moreno, E., Sagnotti, L., Dinar, J., & Cascella, A. (2003). *ARTICLE IN PRESS Biomonitoring of traffic air pollution in Rome using magnetic properties of tree leaves*. 37, 2967–2977. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00244-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00244-9)
- Xu, X., Xia, J., Gao, Y., & Zheng, W. (2020). Urban Forestry & Urban Greening Additional focus on particulate matter wash-off events from leaves is required : A review of studies of urban plants used to reduce airborne particulate matter pollution. *Urban Forestry & Urban Greening*, 48(December 2019), 126559. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126559>
- Zhang, C., Huang, B., Piper, J. D. A., & Luo, R. (2008). *Biomonitoring of atmospheric particulate matter using magnetic properties of Salix matsudana tree ring cores*. 3. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.12.032>

Zhang, P. qian, Liu, Y. ju, Chen, X., Yang, Z., Zhu, M. hao, & Li, Y. ping.
(2016). Pollution resistance assessment of existing landscape plants on
Beijing streets based on air pollution tolerance index method. *Ecotoxicology
and Environmental Safety*, 132, 212–223. [https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.
2016.06.003](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.06.003)

Zulaikah, S. (1967). *Rock Magnetisme*. X, 1–6.





LETTER OF ACCEPTANCE

Kepada Yth,
Sdr Yulia Widia Sari
Di Tempat

Bersama ini kami sampaikan bahwa artikel yang saudara/i kirimkan:

Judul : **Karakterisasi Sifat Magnetik Daun Untuk Analisa Polusi Udara:
Sebuah Tinjauan Ulang**

Penulis : Yulia Widia Sari, Yeggi Darnas, Abd. Mujahid Hamdan

Afiliasi : Program Studi Teknik Lingkungan, UIN Arraniry Banda Aceh - Indonesia

Dinyatakan telah **DISETUJUI** pada tanggal 10 Oktober 2020 oleh tim editor Jurnal Serambi Engineering, Fakultas Teknik Universitas Serambi Mekkah. Artikel ini akan dimuat pada Jurnal Serambi Engineering Vol. V No. 4, Oktober 2020.

Demikian surat pemberitahuan (*Letter of Acceptance*) ini kami sampaikan untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Banda Aceh, 11 Oktober 2020
Jurnal Serambi Engineering

Dr. Muhammad Nizar, ST, MT
Editor in Chief