



**ANALISIS POTENSI KANDUNGAN BESI PADA PASIR  
MELALUI INDUKSI ELEKTROMAGNETIK**

**SKRIPSI**

Oleh :

**Alfi Firman Syah  
NIM 140210102087**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**



**ANALISIS POTENSI KANDUNGAN BESI PADA PASIR  
MELALUI INDUKSI ELEKTROMAGNETIK**

**SKRIPSI**

Oleh :

**Alfi Firman Syah  
NIM 140210102087**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**



**ANALISIS POTENSI KANDUNGAN BESI PADA PASIR  
MELALUI INDUKSI ELEKTROMAGNETIK**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Pendidikan Fisika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan

Oleh :

**Alfi Firman Syah  
NIM 140210102087**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**

## PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Seluruh keluargaku, terutama Ibunda Enny Irianti, Ayahanda Usman, dan Adik Akbar Fitranto yang selalu memberikan dukungan motivasi dan doa dalam setiap perjuanganku serta curahan kasih sayang yang telah diberikan selama ini;
2. Guru-guruku, pahlawan tanpa tanda jasa, sejak TK Ngesti Budi, SDN 2 Karah, SDN 1 Rogojampi, SMPN 1 Rogojampi, SMAN 1 Giri, hingga FKIP UNEJ, yang telah memberikan ilmu, membimbing dengan kesabaran dan keikhlasan hati;
3. Almamater tercinta Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

## MOTO

“Tidak ada sesuatu musibah yang menimpa seseorang dalam kehidupan ini, kecuali dengan izin Allah, karena Allah mengetahui dan mengatur kehidupan ini; dan barang siapa beriman kepada Allah dengan istikamah, niscaya Allah akan memberi petunjuk kepada hatinya dengan memantapkan imannya”

**(Qs. At-Taghabun (64): 11)\***

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari satu urusan) kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain dan hanya kepada Tuhanmulah engkau patut berharap dengan selalu bertawakal serta mengharap rahmat dan rida-Nya”

**(Qs. Asy-syarah (94): 6-8)\*\***

---

\*) \*\*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2004. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: J-ART.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alfi Firman Syah

NIM : 140210102087

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “Analisis Potensi Kandungan Besi pada Pasir Melalui Induksi Elektromagnetik” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Mei 2018

Yang menyatakan,

Alfi Firman Syah  
NIM 140210102087

**SKRIPSI**

**ANALISIS POTENSI KANDUNGAN BESI PADA PASIR  
MELALUI INDUKSI ELEKTROMAGNETIK**

Oleh

Alfi Firman Syah  
NIM 140210102087

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Sudarti, M.Kes.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Alex Harijanto, M.Si.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Potensi Kandungan Besi pada Pasir Melalui Induksi Elektromagnetik” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Rabu, 30 Mei 2018

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

**Dr. Sudarti, M.Kes**  
NIP 19620123 198802 2 001

**Drs. Alex Harijanto, M.Si**  
NIP 19641117 199103 1 001

Anggota I,

Anggota II,

**Dr. Supeno, S.Pd., M.Si**  
NIP 19741207 199903 1 002

**Drs. Sri Handono Budi P., M.Si**  
NIP 19580318 198503 1 004

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan  
Universitas Jember,

**Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D**  
NIP 19680802 199303 1 004



## RINGKASAN

**Analisis Potensi Kandungan Besi pada Pasir Melalui Induksi Elektromagnetik**; Alfi Firman Syah; 140210102087; 2014; 64 halaman; Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Pasir besi adalah endapan pasir yang mengandung partikel besi (magnetit) yang umumnya terdapat di sepanjang pantai. Pasir besi secara umum banyak dipakai dalam industri sebagai bahan baku pabrik baja dan bahan magnet dengan memanfaatkan bijih besinya. Proses terbentuknya pasir besi karena penghancuran oleh cuaca, air permukaan, dan gelombang terhadap batuan asal yang mengandung mineral besi seperti magnetit, ilmenit, dan oksida besi, kemudian terakumulasi (sedimentasi) serta tercuci oleh gelombang air laut. Sedimen adalah partikel organik dan anorganik yang terakumulasi secara bebas. Sebaran sedimen yang terjadi di daerah pantai merupakan hasil interaksi dari masukan baik yang dihasilkan sistem fluvial ataupun dari laut. Sistem fluvial berasosiasi dengan bentang lahan penumpukan sedimen seperti sungai besar. Pada dasarnya bentuk lahan ini disebabkan akibat proses air yang mengalir baik yang memusat (sungai) maupun aliran permukaan bebas (*overland flow*). Pasir besi terutama berasal dari batuan basaltik dan andesitik vulkanik. Syarat utama yang memicu terbentuknya pasir besi adalah gunung api, dan sungai yang mengalir ke pantai.

Pulau Jawa memiliki potensi besar pasir besi yaitu di pantai selatan. Provinsi Jawa Timur adalah salah satu daerah yang mempunyai potensi kekayaan alam berupa hasil tambang yang melimpah dan salah satunya di kawasan kabupaten Lumajang. Wilayah kabupaten Lumajang mempunyai potensi cadangan pasir besi paling luas di Indonesia dengan potensi bahan galian golongan C dan golongan B. Potensi bahan galian golongan C dan golongan B ini diperkirakan berasal dari semburan gunung Semeru yang masih aktif, yang dibawa air sungai hingga menuju

ke laut. Masih banyak wilayah yang memiliki potensi pasir besi, namun belum dikelola secara maksimal.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan ggl induksi dengan kandungan unsur besi pada bahan uji pasir besi serta mengetahui potensi kandungan besi pada beberapa wilayah pantai selatan Jawa Timur dengan menganalisis ggl induksi yang dihasilkan bahan uji pasir besi. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksplorasi dengan bahan uji yang digunakan diambil dari wilayah pantai Bambang (Lumajang), pantai Wotgalih (Lumajang), dan pantai Paseban (Jember). Pada setiap pantai diambil dua titik lokasi pengambilan bahan uji yaitu di tepi pantai dan di aliran muara. Hal tersebut untuk mengetahui titik lokasi potensi endapan pasir besi yang ada di masing-masing lokasi pantai. Sedangkan sebagai bahan uji kontrol untuk mengetahui perbedaan antara pasir besi dengan pasir biasa juga digunakan bahan uji pasir bangunan yang diambil di sekitar wilayah Universitas Jember. Pada penelitian ini menggunakan metode induksi elektromagnetik untuk mengetahui potensi kandungan besi melalui nilai ggl induksi dari bahan uji pasir besi. Untuk mengetahui kandungan besi (Fe) yang terkandung dalam pasir besi dilakukan dengan metode spektrofotometri serapan atom.

Keseluruhan data hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan nilai ggl induksi dan kandungan besi yang berbeda pada masing-masing bahan uji. Potensi kandungan besi dapat diketahui berdasarkan nilai ggl induksi. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa semakin besar nilai ggl induksi yang dihasilkan maka semakin besar pula potensi kandungan besi yang ada pada suatu bahan, karena besarnya ggl induksi dipengaruhi oleh banyaknya kandungan unsur besi yang dapat merespon medan magnet yang mempengaruhinya. Terdapat hubungan (korelasi positif) antara dua variabel ggl induksi dengan kandungan besi pada bahan uji. Hasil uji korelasi pearson menunjukkan bahwa nilai korelasi pearson tidak sama dengan nol yaitu 0,964, sedangkan untuk nilai signifikansi menunjukkan  $0,001 < 0,05$  dengan demikian korelasi dari kedua variabel tersebut adalah signifikan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan metode yang mudah dan murah dalam mengetahui potensi pasir besi bagi masyarakat serta dapat digunakan sebagai informasi ilmiah terkait eksplorasi pasir besi.

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, serta Nabi besar Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Potensi Kandungan Besi pada Pasir Melalui Induksi Elektromagnetik”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak akan terselesaikan dengan baik tanpa bantuan, bimbingan, dan petunjuk dari berbagai pihak. Maka, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terimakasih dan penghargaan yang tidak terhingga kepada Dr. Sudarti, M.Kes. selaku dosen pembimbing utama, dan Drs. Alex Harijanto, M.Si. selaku dosen pembimbing anggota sekaligus Kepala Laboratorium Pendidikan Fisika, yang telah memberikan motivasi, bimbingan, saran, dan arahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini, penulis juga ingin mengucapkan rasa terimakasih dan penghargaan yang tidak terhingga kepada:

1. Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes. selaku Kepala Jurusan Pendidikan MIPA FKIP Universitas Jember;
3. Drs. Bambang Supriadi, M.Sc. selaku Kepala Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Jember;
4. Dr. Supeno, M.Si. selaku dosen penguji utama dan Drs. Sri Handono Budi Prastowo, M.Si. selaku penguji anggota atas saran dan masukan yang bermanfaat;
5. Bapak dan Ibu Dosen yang telah memberikan bekal ilmu selama menempuh studi di Program Studi Pendidikan Fisika;

6. Putri Okta Wardani yang selalu membantu dan setia mendampingi saat suka maupun duka;
7. Seluruh keluarga Wisma Kartika Puspha, yang telah memberikan semangat dan pengalaman serta telah menjadi keluarga kedua selama menyelesaikan studi;
8. Rekan-rekan dari Program Studi Pendidikan Fisika angkatan 2014 atas kebersamaan serta pengalaman selama perkuliahan yang tak pernah terlupakan;
9. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah membantu dan mendukung terselesaikannya skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Jember, Mei 2018

Penulis

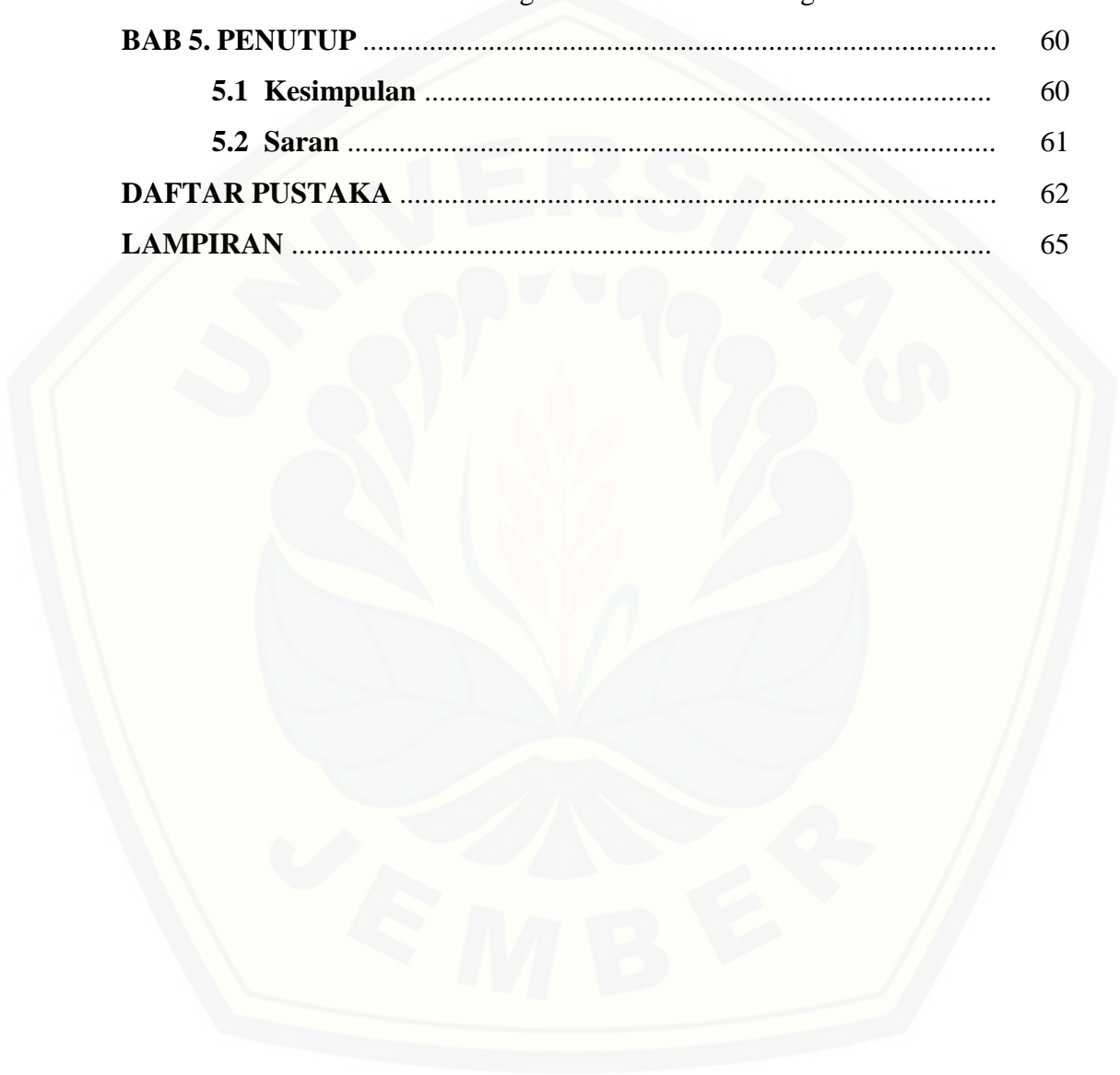
DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	v
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	vi
<b>HALAMAN BIMBINGAN</b> .....	vii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>PRAKATA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	5
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	5
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	5
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	6
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
<b>2.1 Sifat Magnetik Bahan</b> .....	7
2.1.1 Bahan Paramagnetik .....	8
2.1.2 Bahan Ferromagnetik .....	9
2.1.3 Bahan Diamagnetik .....	10
<b>2.2 Pasir Besi dan Sifat Magnetiknya</b> .....	11
<b>2.3 Medan Listrik dan Medan Magnet</b> .....	14



2.3.1 Medan Listrik .....	14
2.3.2 Medan Magnet .....	15
2.3.3 Solenoid dan Elektromagnet .....	18
<b>2.4 Induksi Elektromagnetik .....</b>	<b>20</b>
2.4.1 Fluks Magnetik .....	20
2.4.2 Ggl Induksi .....	20
2.4.3 Hukum Faraday .....	21
2.4.4 Induktansi .....	22
2.4.5 Transformator .....	23
<b>2.5 Alat Induksi Elektromagnetik .....</b>	<b>24</b>
<b>2.6 Spektrofotometri Serapan Atom .....</b>	<b>28</b>
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Jenis Penelitian .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....</b>	<b>30</b>
3.2.1 Tempat Penelitian .....	30
3.2.2 Waktu Penelitian .....	30
<b>3.3 Variabel Penelitian .....</b>	<b>30</b>
<b>3.4 Definisi Operasional Penelitian .....</b>	<b>31</b>
<b>3.5 Alat dan Bahan .....</b>	<b>32</b>
<b>3.6 Alur Penelitian .....</b>	<b>33</b>
3.6.1 Persiapan .....	34
3.6.2 Pengambilan Bahan Uji .....	34
3.6.3 Penelitian .....	36
3.6.4 Analisis Data dan Pembahasan .....	37
3.6.5 Kesimpulan .....	37
<b>3.7 Teknik Penyajian Data .....</b>	<b>37</b>
<b>3.8 Teknik Analisis Data .....</b>	<b>38</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1 Hasil Penelitian .....</b>	<b>40</b>
4.1.1 Pelaksanaan Penelitian .....	40
4.1.2 Hasil Pengukuran Ggl Induksi ( $\epsilon$ ) .....	43

4.1.3 Hasil Pengukuran Kandungan Besi (Fe) .....	47
<b>4.2 Analisis Data</b> .....	48
<b>4.3 Pembahasan</b> .....	53
4.3.1 Hubungan Ggl Induksi dan Kandungan Besi .....	53
4.3.2 Potensi Kandungan Besi Berdasarkan Ggl Induksi .....	54
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	60
5.1 Kesimpulan .....	60
5.2 Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	62
<b>LAMPIRAN</b> .....	65



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Perbandingan bahan magnetik .....	11
3.1 Pengukuran ggl induksi bahan uji .....	37
3.2 Pengukuran kandungan besi bahan uji .....	38
3.3 Analisis data hasil pengukuran ggl induksi dan kandungan besi .....	38
3.4 Ketidakpastian relatif hasil pengukuran ggl induksi .....	39
4.1 Titik koordinat lokasi pengambilan bahan uji pasir besi .....	42
4.2 Hasil pengukuran ggl induksi titik lokasi pengambilan tepi pantai .....	43
4.3 Hasil pengukuran ggl induksi titik lokasi pengambilan aliran muara ..	45
4.4 Nilai rata-rata hasil pengukuran ggl induksi bahan uji .....	46
4.5 Hasil pengukuran kandungan besi (Fe) bahan uji .....	47
4.6 Analisis data hasil pengukuran ggl induksi dan kandungan besi .....	49
4.7 Hasil uji deskriptif menggunakan spss 23 .....	49
4.8 Hasil uji korelasi pearson menggunakan spss 23 .....	50
4.9 Ketidakpastian relatif hasil pengukuran ggl induksi bahan uji .....	52



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Keberadaan permeabilitas magnet yang dikaitkan dengan sifat magnetik bahan .....	8
2.2 Bagan domein dan momen dipol magnetnya di dalam bahan paramagnetik .....	9
2.3 Bagan domein dan momen dipol magnetnya di dalam bahan ferromagnetik .....	10
2.4 Gerak orbit elektron di ruang bermedan magnet .....	11
2.5 Proses ekstraksi mineral magnetik dari pasir besi dengan menggunakan magnet permanen .....	13
2.6 Garis medan magnet yang terlihat pada pasir uji yang diekstrak menggunakan magnet permanen .....	13
2.7 Kawat berarus $I$ yang menimbulkan medan magnet di titik $P$ .....	17
2.8 Medan magnet dari sebuah solenoid .....	18
2.9 Pandangan penampang melintang solenoid .....	19
2.10 Pemotongan medan magnet oleh sebuah konduktor .....	21
2.11 Kumparan 1 (kiri) menghasilkan perubahan fluks medan magnet yang ditangkap kumparan 2 (kanan) .....	22
2.12 Transformator step-up .....	23
2.13 Potret alat induksi elektromagnetik .....	26
2.14 Bagan set-up penelitian .....	27
2.15 Contoh ggl induksi pada bahan isian pasir gunung merapi .....	27
2.16 Pembacaan skala pada osiloskop .....	28
3.1 Rangkaian alat induksi elektromagnetik .....	32
3.2 Alat induksi elektromagnetik .....	33
3.3 Diagram alur penelitian .....	33
3.4 Lokasi pengambilan bahan uji pasir besi .....	35

3.5	Diagram alur induksi elektromagnetik .....	36
3.6	Grafik hubungan antara ggl induksi dengan kandungan besi (Fe) pada bahan uji pasir besi .....	39
4.1	Denah area vulkanis di Jawa Timur .....	40
4.2	Denah lokasi pengambilan bahan uji pasir besi .....	42
4.3	Hasil pengukuran ggl induksi titik lokasi pengambilan tepi pantai .....	44
4.4	Hasil pengukuran ggl induksi titik lokasi pengambilan aliran muara ...	45
4.5	Hasil pengukuran ggl induksi bahan uji .....	46
4.6	Hasil pengukuran kandungan besi (Fe) bahan uji .....	48
4.7	Grafik hubungan hasil pengukuran ggl induksi dengan kandungan besi (Fe) pada masing-masing bahan uji .....	51
4.8	Grafik pola sebaran endapan pasir besi dari barat ke timur .....	52

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>A. Matrik Penelitian</b> .....	65
<b>B. Data Hasil Penelitian</b> .....	67
1. Tabel Hasil Penelitian .....	67
a. Tabel hasil pengukuran ggl induksi bahan uji .....	67
b. Ketidakpastian relatif hasil pengukuran ggl induksi .....	67
c. Tabel hasil pengukuran kandungan besi bahan uji .....	70
2. Gambar Sinyal Hasil Pengukuran Ggl Induksi Bahan Uji pada Layar Osiloskop .....	70
a. Tepi Pantai Bambang .....	70
b. Tepi Pantai Wotgalih .....	72
c. Tepi Pantai Paseban .....	74
d. Aliran Muara Pantai Bambang .....	75
e. Aliran Muara Pantai Wotgalih .....	77
f. Aliran Muara Pantai Paseban .....	79
g. Pasir Bangunan (Bahan Uji Kontrol) .....	80
3. Hasil Uji Kandungan Besi (Fe) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) Laboratorium CDAST Universitas Jember .....	83
4. Hasil Uji Korelasi Ggl Induksi dengan Kandungan Besi (Fe) Bahan Uji .....	88
<b>C. Gambar Penelitian</b> .....	89
1. Pengambilan Bahan Uji .....	89
2. Pencucian Pengeringan dan Pengayakan Bahan Uji .....	90
3. Pengukuran Ggl Induksi .....	91

## BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan akan dijelaskan beberapa hal meliputi: 1) latar belakang, 2) rumusan masalah, 3) tujuan penelitian, 4) manfaat penelitian, dan 5) batasan masalah.

### 1.1 Latar Belakang

Sumber Daya Alam (SDA) adalah segala sesuatu yang berasal dari alam yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki sumber daya alam yang begitu melimpah, salah satunya adalah besi (Fe). Telah diketahui bahwasannya banyak hal di sekitar yang memanfaatkan keberadaan unsur besi (Fe) yang berada di alam, misalnya secara fisik seperti gedung, jembatan, perumahan, jalan raya dan masih banyak lagi yang memanfaatkan besi (Fe) sebagai bahan dasar untuk membangunnya (Bilalodin, 2010). Bahan baku logam besi juga bisa didapatkan dari pasir yang tersebar di berbagai wilayah di Indonesia, khususnya pasir besi. Pasir merupakan bahan alam yang tersedia sangat melimpah di Indonesia. Selama ini pasir hanya dimanfaatkan sebagai bahan bangunan, padahal pasir banyak mengandung mineral berharga yang mengandung unsur besi, titanium dan unsur lainnya yang bisa dimanfaatkan untuk bahan industri, serta di dalam pasir juga terkandung pasir besi (Afdal dan Niarti, 2013).

Saat ini penambangan dan pemanfaatan pasir di Indonesia masih kurang optimal, khususnya pemanfaatan pasir besi. Pasir besi ditambang bersamaan dengan material dan mineral lainnya sehingga perlu dilakukan proses pemisahan atau pencucian. Pengolahan pasir besi di Indonesia saat ini hanya dalam bentuk bahan mentah atau *raw material* yang langsung diekspor atau diolah, misalnya sebagai campuran semen yang pernah dilakukan oleh industri semen PT Semen Padang. Namun demikian, pemanfaatan ini mendapat tanggapan negatif dari masyarakat setempat karena eksploitasi pasir secara besar-besaran dikhawatirkan akan mengakibatkan terjadinya kerusakan pada lingkungan (Mufit *et al.*, 2006).

Masih banyak wilayah yang memiliki potensi pasir besi, namun belum dikelola secara maksimal. Padahal bahan baku logam besi juga akan habis bila terus menerus digunakan, sehingga untuk menjaga pemanfaatan logam besi diperlukan pencarian lokasi-lokasi yang berpotensi besar dalam menghasilkan bahan baku logam besi. Tidak hanya sebagai bahan baku logam besi, pasir besi juga memiliki kandungan mineral magnetik yang mungkin untuk dikembangkan menjadi bahan yang bernilai ekonomis tinggi. Mineral magnetik yang dikandung pasir besi diantaranya *magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), *hematite* ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), dan *maghemite* ( $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) berpotensi untuk bahan industri, misalnya sebagai pewarna serta campuran (*filler*) untuk cat, juga sebagai bahan dasar magnet permanen (Mufit *et al.*, 2013).

Pasir besi tersebar di berbagai wilayah Indonesia terutama di daerah pesisir pantai mulai dari pantai Barat Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, kawasan Nusa Tenggara, Kepulauan Maluku dan Jawa (Bilalodin, 2010). Khusus untuk wilayah pulau Jawa yang memiliki potensi besar pasir besi yaitu di pantai selatan (Bilalodin *et al.*, 2013). Pasir pantai umumnya mengandung banyak material seperti Ti, Mg, dan Fe (bijih besi). Bijih besi yang terkandung di dalam pasir pantai merupakan unsur logam yang dapat terinduksi oleh medan magnet sehingga dapat ditentukan nilai permeabilitas relatifnya (Lusiyana *et al.*, 2014). Syarat utama dari terbentuknya pasir besi adalah gunung api dan sungai yang mengalir melalui pantai. Gunung api merupakan sumber (*source*) dari pasir besi yang berwarna kehitaman (Salomo *et al.*, 2017). Hal tersebut diperkuat dengan masih banyaknya gunung berapi aktif yang terdapat di Jawa Timur, yang setiap terjadi erupsi akan menghasilkan endapan material termasuk pasir besi di pesisir pantai atau muara aliran sungai yang terhubung langsung dengan hulu dari gunung berapi aktif tersebut. Proses dari pembentukan endapan pasir besi yang ditentukan oleh beberapa faktor antara lain batuan asal, proses perombakan, media transportasi, proses, serta tempat pengendapannya. Di daerah pantai, mineral diendapkan kembali oleh gelombang air laut yang menghempas ke pantai. Akibat hempasan tersebut, sebagian besar mineral yang mempunyai berat jenis yang besar akan terendapkan di pantai, sedangkan mineral berat yang berat jenisnya lebih ringan akan kembali terbawa oleh arus balik kembali ke laut, demikian terjadi secara terus



menerus hingga terjadi endapan pasir besi di pantai. Tempat pengendapan pasir besi umumnya terjadi pada pantai yang landai, sedangkan pada pantai yang curam sulit terjadi proses pengendapan.

Provinsi Jawa Timur adalah salah satu daerah yang mempunyai potensi kekayaan alam berupa hasil tambang yang melimpah dan salah satunya di kawasan pantai Meleman, desa Wotgalih, kecamatan Yosowilangun, kabupaten Lumajang. Kabupaten Lumajang sendiri terdiri dari dataran yang subur yang diapit oleh tiga gunung yaitu gunung Semeru, gunung Bromo, dan gunung Lemongan. Wilayahnya memiliki potensi cadangan pasir besi paling luas di Indonesia dengan potensi bahan galian golongan C yang berupa jenis pasir, batu, coral, dan sirtu. Selain itu, kabupaten Lumajang juga memiliki potensi bahan galian golongan B yang berupa pasir besi, intan, dan emas. Tetapi, pada kisaran tahun 2010 sampai 2011 terjadi konflik yang menghambat kegiatan pertambangan pasir besi di lokasi tersebut. Masyarakat sekitar menganggap tidak ada keuntungan secara langsung bagi mereka serta berdampak buruk bagi lingkungan sekitar area penambangan pasir, jalanan rusak akibat terlalu sering dilalui kendaraan berat bahkan juga merusak beberapa area pertanian milik warga (Ma'rifah *et al.*, 2014).

Masih kurangnya pengetahuan masyarakat dalam pemanfaatan pasir besi membuat kurang optimalnya pengolahan pasir besi. Hal tersebut terlihat dari proses penambangan pasir besi di daerah Lumajang dan sekitarnya masih dilakukan secara tradisional oleh masyarakat setempat dengan menggunakan alat tradisional seadannya. Begitupula dengan pemanfaatan pasir besi di daerah Lumajang hanyalah digunakan sebagai bahan dasar bangunan seperti batako oleh masyarakat setempat (Lopes dan Wibowo, 2016). Penelitian ini juga dilatarbelakangi oleh minimnya riset terkait pasir besi di daerah Lumajang yang nantinya dapat dimanfaatkan sebagai informasi ilmiah yang dapat mendukung eksplorasi terhadap pasir besi. Pemetaan potensi pasir besi yang telah dilakukan oleh Lopes dan Wibowo (2016) hanya terbatas di wilayah sekitar kecamatan Tempursari, Lumajang. Hal tersebut juga mendorong peneliti untuk melakukan penelitian pada lokasi-lokasi yang lain di Lumajang dan sekitarnya terkait sifat magnetik (dinyatakan dalam ggl induksi) dan potensi pasir besi yang ada. Lokasi-lokasi yang

diangkat dalam penelitian ini yaitu pantai Bambang (Lumajang), pantai Wotgalih (Lumajang), dan pantai Paseban (Jember).

Pada penelitian ini menggunakan metode induksi elektromagnetik untuk mengetahui potensi kandungan besi pada pasir besi berdasarkan ggl induksi yang dihasilkan. Untuk mengetahui kandungan besi (Fe) yang terkandung dalam pasir besi dilakukan dengan metode spektrofotometri serapan atom. Setelah diketahui ggl induksi dan kandungan unsur besi (Fe) pada pasir besi, juga dilakukan analisis terkait hubungan antara ggl induksi dan kandungan unsur besi (Fe) pada pasir besi. Seperti pada penelitian sebelumnya oleh Krisman *et al.* (2017) tentang induksi magnetik total endapan pasir, mendapatkan hasil bahwa induksi magnetik semakin besar nilainya jika arus yang diberikan bertambah. Serta penelitian yang dilakukan oleh Lusiyana *et al.* (2014) yang mendapatkan hasil permeabilitas relatif pasir pantai yang lebih tinggi diketahui memiliki kandungan bijih besi yang lebih banyak pula. Alat karakterisasi sifat kemagnetan bahan yang telah dibuat oleh Jati dan Mahmudin (2012) juga berhasil untuk mengetahui sifat kemagnetan suatu bahan, yang dinyatakan dalam bentuk ggl induksi dalam mV, diperoleh hasil bahan uji berbeda (berarti permeabilitasnya berbeda) memberikan nilai ggl induksi yang berbeda pula. Semakin besar konsentrasinya pada serbuk logam (ggl induksinya bertambah), pada larutan garam (ggl induksinya justru berkurang). Sedangkan penelitian sebelumnya terkait dengan metode spektrofotometri serapan atom untuk analisis besi (Fe) di sungai pasar di daerah Belangwetan, Klaten positif mengandung besi dengan kadar rata-rata 2,33 mg/L (2,33 ppm), yang menunjukkan bahwa metode spektrofotometri serapan atom dapat digunakan untuk mengetahui kadar besi (Fe) suatu bahan (Nurhaini dan Affandi, 2016).

Berdasarkan uraian di atas, dirasa perlu untuk dilakukan penelitian yang dapat menghasilkan informasi ilmiah terkait potensi kandungan besi pada pasir besi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan metode yang mudah dan murah dalam mengetahui potensi pasir besi bagi masyarakat serta dalam bidang pendidikan fisika dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran terkait aplikasi konsep induksi elektromagnetik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi kandungan besi berdasarkan ggl induksi yang dihasilkan metode induksi

elektromagnetik pada pasir besi serta mengetahui hubungan ggl induksi dengan kandungan unsur besi (Fe) yang terkandung pada pasir besi. Oleh karena itu, dilakukan penelitian dengan judul “Analisis Potensi Kandungan Besi pada Pasir Melalui Induksi Elektromagnetik”. Adanya penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan ekplorasi terhadap lokasi-lokasi lain yang memiliki potensi pasir besi, sehingga dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas produksi dan pengolahan pasir besi.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimana hubungan ggl induksi dengan kandungan besi (Fe) pada bahan uji pasir besi?
- b. Bagaimana potensi kandungan besi pada bahan uji pasir besi berdasarkan ggl induksi yang dihasilkan?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan uraian latar belakang dan rumusan masalah maka tujuan penelitian sebagai berikut:

- a. Menganalisis hubungan ggl induksi dan kandungan besi (Fe) pada bahan uji pasir besi.
- b. Menganalisis potensi kandungan besi pada bahan uji pasir besi berdasarkan ggl induksi yang dihasilkan.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

- a. Dalam bidang pendidikan dapat dijadikan sebagai bahan pembelajaran terkait aplikasi konsep induksi elektromagnetik.
- b. Dapat dijadikan sebagai rujukan dan bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.



- c. Menambah pengetahuan tentang eksplorasi pasir besi dengan metode elektromagnetik.
- d. Hasil yang diperoleh dapat digunakan sebagai informasi ilmiah bagi pihak terkait dalam eksplorasi pasir besi.

### **1.5 Batasan Masalah**

Untuk menghasilkan kapabilitas penelitian yang baik, maka lingkup pembahasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Tidak membahas mekanis dari rangkaian alat induksi elektromagnetik dan spektrofotometri serapan atom yang digunakan.
- b. Terbatas hanya mengukur ggl induksi dan kandungan besi (Fe) pada bahan uji pasir besi.
- c. Terbatas membahas hubungan antara ggl induksi dan kandungan besi (Fe) pada bahan uji pasir besi.

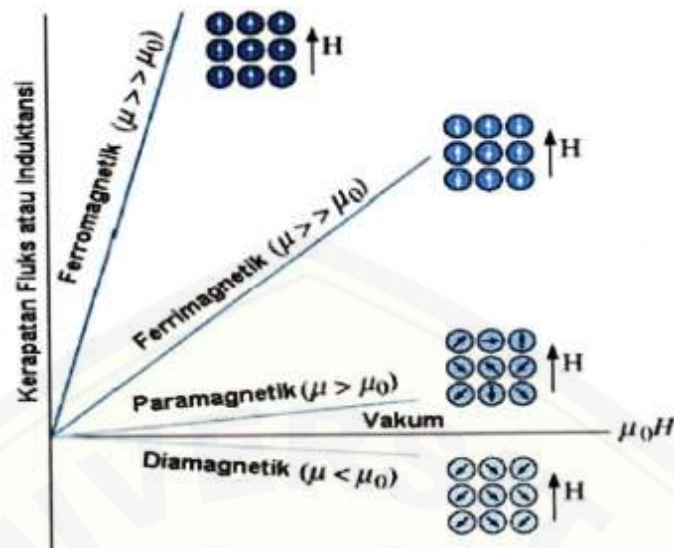
## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab tinjauan pustaka akan dijelaskan teori-teori yang menunjang penelitian meliputi: 1) sifat magnetik bahan, 2) pasir besi dan sifat magnetiknya, 3) medan listrik dan medan magnet, 4) induksi elektromagnetik, 5) alat induksi elektromagnetik, dan 6) spektrofotometri serapan atom.

### 2.1 Sifat Magnetik Bahan

Setiap bahan selain magnet memiliki sifat-sifat kemagnetan atau magnetik. Jika sebuah benda diletakkan di dalam medan magnet, maka kekuatan magnetik dari bahan tersebut akan terpengaruhi. Efek ini disebut sebagai Hukum Faraday Induksi Magnetik. Akan tetapi dampak dari medan magnet luar pada setiap bahan tidaklah sama. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu struktur atom, susunan molekul material, dan momen dipole magnet. Momen dipole yang berhubungan dengan struktur atom memiliki tiga faktor yang mempengaruhi. Hal tersebut adalah gerakan orbital elektron, perubahan gerakan orbital karena adanya medan magnet luar, dan spin dari elektron.

Ditinjau dari sifat kemagnetannya, benda dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu paramagnetik, ferromagnetik, dan diamagnetik. Sifat kemagnetan bahan tersebut mempengaruhi suatu bahan dalam merespon medan magnet yang ada disekitarnya. Bahan paramagnetik menyebabkan kuat medan di dalam bahan itu sedikit lebih besar daripada medan magnet di luar bahan (udara), sedangkan di dalam bahan ferromagnetik mampu membuat kuat medan magnet di dalam bahan berorde ribuan kali lebih besar daripada di luar bahan. Sementara itu, kuat medan magnet di dalam diamagnetik lebih lemah daripada di luar bahan (Jati dan Priyambodo, 2010: 119). Berikut Gambar 2.1 merupakan keberadaan permeabilitas magnet yang dikaitkan dengan sifat magnetik bahan.

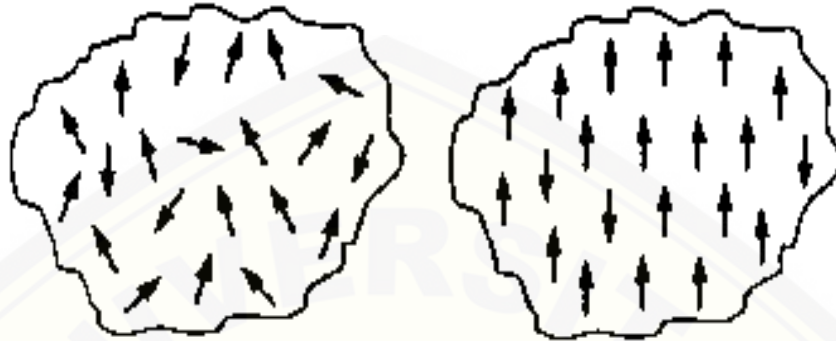


Gambar 2.1 Keberadaan permeabilitas magnet yang dikaitkan dengan sifat magnetik bahan (Sumber: Jati dan Mahmudin, 2012)

### 2.1.1 Bahan Paramagnetik

Bahan paramagnetik adalah bahan yang resultan medan magnet atomis masing-masing atom/molekulnya tidak nol, tetapi resultan medan magnet atomis total seluruh atom/molekul dalam bahan nol (Halliday dan Resnick, 1989). Bahan paramagnetik tersusun oleh atom atau ion yang memiliki momen dipol magnet tetap. Arah dari momen dipol magnet pada bahan paramagnetik bersifat random, sehingga momen dipol magnet resultannya bernilai 0. Jika bahan paramagnetik diletakkan di ruang bermedan magnet, maka orientasi dipol magnet cenderung berarah sejajar dengan medan magnet luar sehingga kuat medan magnet keseluruhan di dalam bahan lebih besar dibanding di luarnya (Jati dan Priyambodo, 2010: 122). Perbandingan momen yang menyearahkan dengan medan ini bergantung pada kekuatan medan dan pada temperaturnya. Bahan paramagnetik memiliki suseptibilitas magnetik  $\chi_m$  yang positif, dan sangat kecil (Tipler, 2001: 330). Maka dari itu bahan paramagnetik dapat ditarik oleh magnet namun tidak dapat dimagnetkan, contohnya seperti piroksen, olivin, garnet, biofit, amfibolit, alumunium, dan platina (Dini *et al.*, 2013). Medan magnet di dalam bahan paramagnetik sebanding dengan medan magnet di luar bahan. Jika di luar bahan

paramagnetik itu berupa ruang vakum, maka terdapat kesebandingan yang disebut permeabilitas realtif (Jati dan Priyambodo, 2010).



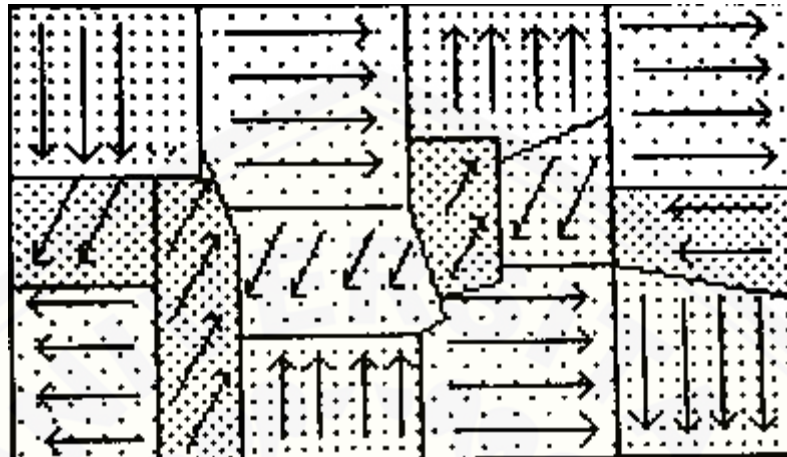
Gambar 2.2 Bagan domein dan momen dipol magnetnya di dalam bahan paramagnetik

### 2.1.2 Bahan Ferromagnetik

Bahan ferromagnetik adalah bahan yang mempunyai resultan medan atomis besar (Halliday dan Resnick, 1989). Bahan ferromagnetik bila diradiasi medan magnet menyebabkan kuat medan magnet di dalam bahan itu menjadi besar sekali (Jati dan Priyambodo, 123). Bahan ferromagnetik merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik  $\chi_m$  positif yang sangat tinggi. Ferromagnetik muncul pada besi murni, kobalt, dan nikel serta paduan dari logam-logam ini. Sifat ini juga dimiliki oleh gadolinium, disprosium, dan beberapa senyawa lain. Dalam bahan-bahan ini sejumlah kecil medan magnetik luar dapat menyebabkan derajat penyearahan yang tinggi pada momen dipol magnetik atomnya, bahkan dapat bertahan sekalipun medan pemagnetnya telah hilang. Pada temperatur di atas suatu temperatur kritis, yang disebut temperatur *Curie*, gerak termal acak sudah cukup besar untuk merusak keteraturan penyearahan ini (Tipler, 2001: 333).

Sebagai contoh, kuat medan magnet (ketika di udara)  $2,0 \times 10^{-4}$  T, maka ketika di dalam bahan ferromagnetik menjadi 1,0 T atau 5000 kali lebih besar. Sifat ferromagnetisme tidak lagi mengikuti dipol magnet oleh gerak spin elektron seperti pada bahan paramagnetik. Sifat ferromagnetisme dapat diterangkan dengan teori domein, artinya setiap bahan terdiri dari domeindomein, setiap domein memiliki

dipol magnet berarah sama seperti pada Gambar 2.3 di bawah ini yang dilambangkan anak panah (Jati dan Priyambodo, 2010).



Gambar 2.3 Bagan domein dan momen dipol magnetnya di dalam bahan ferromagnetik (Sumber: Jati dan Priyambodo, 2010: 124)

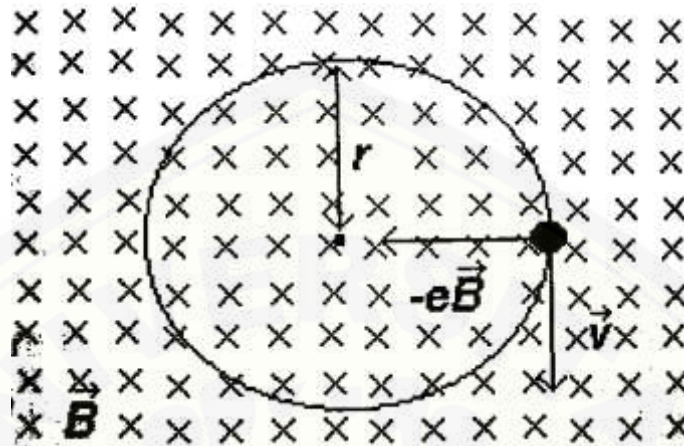
### 2.1.3 Bahan Diamagnetik

Bahan diamagnetik adalah bahan yang resultan medan magnet atomis masing-masing atom atau molekulnya nol, tetapi orbit dan spinnya tidak nol (Halliday dan Resnick, 1989). Bahan diamagnetik merupakan bahan yang ditolak oleh magnet dan tidak dapat dimagnetkan, contohnya bismuth, grafit, gipsum, marmer, kuarsa, garam (Dini *et al.*, 2013). Bahan diamagnetik merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas  $\chi_m$  negatif dan sangat kecil. Sifat diamagnetik ditemukan oleh Faraday 1846 ketika ia mengetahui bahwa sekeping bismut ditolak oleh kedua kutub magnet, yang memperlihatkan bahwa medan luar dari magnet tersebut menginduksikan suatu momen magnetik pada bismut dalam arah yang berlawanan dengan medan tersebut (Tipler, 2001: 337).

Bahan diamagnetik bersifat seperti paramagnetik, hanya saja nilai permeabilitas relatifnya kurang dari 1. Jika bahan ini diletakkan di ruang bermedan magnet maka kuat medan magnet di dalam bahan lebih kecil dibanding di mediumnya, misalnya udara. Peristiwa ini terjadi karena radiasi medan magnet menyebabkan frekuensi sudut gerak orbit elektron berubah seperti pada Gambar 2.4 di bawah ini. Hal ini menyebabkan momen dipol magnet lebih kecil. Bahan plastik,



ebonit, mika, dan gelas cenderung memiliki sifat ini (Jati dan Priyambodo, 2010: 124-125).



Gambar 2.4 Gerak orbit elektron di ruang bermedan magnet (Sumber: Jati dan Priyambodo, 2010: 125)

Berdasarkan uraian di atas dapat diketahui perbandingan sifat magnetik dari masing-masing jenis bahan seperti pada Tabel 2.1 di bawah ini.

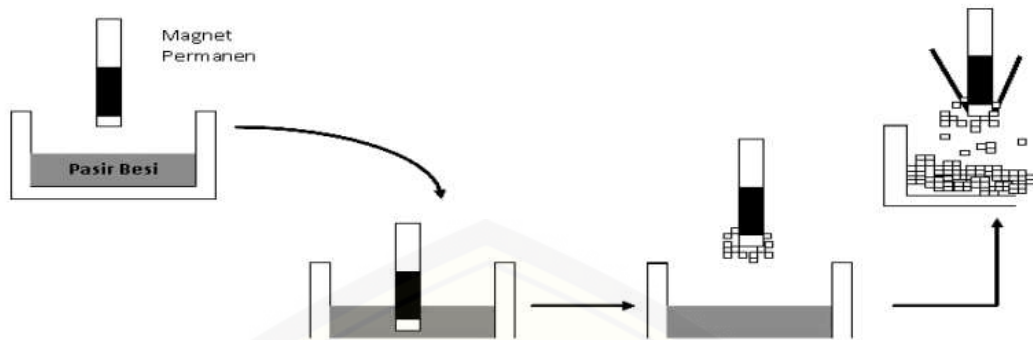
Tabel 2.1 Perbandingan bahan magnetik

Jenis Bahan	Permeabilitas	Suseptibilitas
Diamagnetik	$\mu < \mu_0$	$\chi_m < 0$
Paramagnetik	$\mu > \mu_0$	$\chi_m > 0$
Ferromagnetik	$\mu \gg \mu_0$	$\chi_m \gg 0$

## 2.2 Pasir Besi dan Sifat Magnetiknya

Produktivitas dari alam mempunyai banyak raga. Salah satunya adalah bahan material. Bahan material memiliki sifat dan karakter tertentu yang dapat dimanfaatkan oleh manusia dalam memenuhi kehidupannya. Salah satu contoh dari bahan material adalah pasir besi yang mempunyai banyak manfaat, diantaranya adalah dalam bidang pengecoran logam. Pasir besi merupakan bahan tambang yang mengandung mineral magnetik yang bersifat ferromagnetik, oleh karena itu pasir besi termasuk ke dalam keluarga oksida besi titanium. Menurut Yahya (2014)

sumber mineral endapan pasir besi pantai sebagian besar berasal dari batuan gunung api bersifat andesitik dan basaltik. Proses pembentukan endapan pasir besi yang ditentukan oleh beberapa faktor antara lain batuan asal, proses perombakan, media transportasi, proses, serta tempat pengendapannya. Proses perombakan terjadi karena pelapukan batuan akibat adanya proses alam seperti panas dan hujan yang membuat butiran mineral terlepas dari batuan asalnya. Media transportasi endapan pasir besi antara lain: aliran sungai, gelombang, dan arus laut. Proses transportasi membawa material lapukan dari batuan asal, menyebabkan mineral-mineral terangkut hingga ke muara, kemudian gelombang dan arus laut mencuci dan memisahkan mineral-mineral tersebut berdasarkan perbedaan berat jenisnya. Di daerah pantai, mineral diendapkan kembali oleh gelombang air laut yang menghempas ke pantai. Akibat hempasan tersebut, sebagian besar mineral yang mempunyai berat jenis yang besar akan terendapkan di pantai, sedangkan mineral berat yang berat jenisnya lebih ringan akan kembali terbawa oleh arus balik kembali ke laut, demikian terjadi secara terus menerus hingga terjadi endapan pasir besi di pantai. Tempat pengendapan pasir besi umumnya terjadi pada pantai yang landai, sedangkan pada pantai yang curam sulit terjadi proses pengendapan. Secara umum pasir besi terdiri dari mineral opak yang bercampur dengan butiran-butiran dari mineral non logam seperti kuarsa, kalsit, feldspar, ampibol, piroksen, biotit, dan tourmalin. Mineral tersebut terdiri dari *magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), *hematite* ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), dan *maghemite* ( $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Mineral-mineral tersebut mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai bahan industri (Farsito *et al.*, 2013). Salah satu cara ekstraksi mineral magnetik dari pasir besi dengan menggunakan magnet permanen seperti pada Gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5 Proses ekstraksi mineral magnetik dari pasir besi dengan menggunakan magnet permanen (Sumber: Bilalodin, 2010)

Mineral magnetik seperti pada pasir besi, menunjukkan sifat magnet yang menonjol dan disebut sebagai bahan feromagnetik. Bahan feromagnetik (termasuk ferimagnetik dan antiferomagnetik) yaitu bahan yang dapat ditarik dengan kuat oleh magnet dan dapat dimagnetkan. Contoh: besi, baja, nikel, dan kobalt.



Gambar 2.6 Garis medan magnet yang terlihat pada pasir uji yang diekstrak menggunakan magnet permanen (Sumber: Lusiya, 2014)

Bahan magnetik dapat dibedakan menjadi dua yaitu magnet keras dan magnet lunak. Magnet keras ini adalah bahan yang sukar dijadikan magnet, tetapi setelah menjadi magnet akan menyimpan sifat kemagnetannya dalam waktu yang lama contohnya baja. Sedangkan magnet lunak adalah bahan yang mudah dijadikan magnet, tetapi setelah menjadi magnet sifat kemagnetannya tidak lama contohnya besi. Bahan feromagnetik apabila berada pada suhu *Curie* (suhu tertentu untuk suatu bahan), maka spin elektron disuatu daerah (domain) pada konduktor mempunyai arah yang saling sejajar untuk semua arahnya. Biasanya arah dari



momen dipole magnet dalam suatu bahan adalah acak, dan dampaknya saling menghilangkan, apalagi bila bahan berada pada suhu yang tinggi. Apabila bahan dipengaruhi oleh medan magnet luar, maka hampir semua dipole magnet membuat pembarisan arah polarisasi magnet, dan bahan tersebut dikatakan termagnetisasi (Dini *et al.*, 2013).

Jika sepotong material feromagnetik seperti besi ditempatkan di dalam solenoid untuk membentuk elektromagnet, medan magnet meningkat sangat besar dibandingkan yang dihasilkan oleh arus dalam solenoid saja. Hal ini dikarenakan domain dalam besi menjadi sejajar dengan magnet eksternal yang dihasilkan oleh arus dalam solenoid. Medan magnet total  $\mathbf{B}$  akan merupakan jumlah dua suku:

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_M \quad (2.1)$$

$\mathbf{B}_0$  adalah medan magnet karena arus dalam kumparan solenoid dan  $\mathbf{B}_M$  medan magnet tambahan karena inti besi. Seringkali  $\mathbf{B}_M \gg \mathbf{B}_0$ . Medan magnet total juga dapat dituliskan dengan mengganti konstanta  $m_0$  dalam persamaan (untuk solenoid):

$$B = \mu_0 NI/l \quad (2.2)$$

dengan konstanta lain yang disebut permeabilitas magnetik yang merupakan karakteristik dari material magnet di dalam kumparan. Kemudian  $B = \mu NI/l$ . Untuk material feromagnetik,  $\mu$  jauh lebih besar daripada  $\mu_0$ . Untuk semua material lainnya, nilainya sangat dekat dengan  $\mu_0$ . Namun, nilai  $\mu_0$  tidak konstan untuk material feromagnetik, nilainya tergantung pada kekuatan medan magnet eksternal  $B_0$  (Giancoli, 2014: 160).

### 2.3 Medan Listrik dan Medan Magnet

Keterkaitan antara magnet dan listrik telah terlihat sejak abad ke-19. Sebuah penemuan yang penting adalah bahwa arus listrik menghasilkan efek magnetik (Giancoli, 2014: 136).

#### 2.3.1 Medan Listrik

Menurut Faraday, suatu medan listrik keluar dari setiap muatan dan menyebar ke seluruh ruang. Medan listrik didefinisikan sebagai ruang di sekitar muatan atau sekumpulan muatan yang berinteraksi secara langsung. Gaya pada

benda bermuatan lainnya dapat dikatakan terpengaruh oleh medan listrik yang ada di lokasi tersebut. Medan listrik  $\mathbf{E}$  di setiap titik pada ruang yang disebabkan oleh satu atau lebih muatan, didefinisikan sebagai gaya per satuan muatan yang bekerja pada muatan uji positif  $q$  yang diletakkan pada titik itu:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q} \quad (2.3)$$

(Giancoli, 2014: 13).

Medan listrik  $\mathbf{E}$  merupakan vektor yang menggambarkan keadaan di dalam ruang yang dibentuk oleh sistem muatan. Dengan menggerakkan muatan uji  $q$  dari satu titik ke titik lain, kita bisa memperoleh  $\mathbf{E}$  pada semua titik di dalam ruang (kecuali pada titik yang diduduki oleh  $q$ ). Dengan demikian medan listrik  $\mathbf{E}$  merupakan vektor yang bergantung pada tempat (Tipler, 2001: 15). Medan listrik akibat suatu muatan  $Q$  yang posisinya pada jarak  $r$  dapat dihitung dengan Hukum Coulomb. Magnitudo medan listrik dengan jarak  $r$  dari muatan  $Q$  adalah:

$$\begin{aligned} E &= \frac{F}{q} \\ E &= \frac{kqQ/r^2}{q} \\ E &= k \frac{Q}{r^2} \end{aligned} \quad (2.4)$$

(Giancoli, 2014: 13).

Sehingga dapat kita ketahui dua hal terkait interaksi listrik. Pertama, distribusi muatan yang diberikan bertindak sebagai sumber muatan listrik. Kedua, medan listrik membrikan gaya pada setiap muatan yang berada dan berinteraksi langsung dalam medan tersebut (Sears, 2012: 701).

### 2.3.2 Medan Magnet

Medan magnet merupakan suatu daerah disekeliling setiap magnet. Ketika dua magnet didekatkan satu sama lain, masing-masing memberikan gaya kepada yang lain. Gaya dapat berupa tarik menarik atau tolak menolak dan dapat dirasakan bahkan ketika magnet tidak bersentuhan. Kita menggunakan konsep medan listrik. Dengan cara yang sama, kita bisa menggambarkan medan magnet yang

mengelilingi magnet. Gaya yang dikerahkan satu magnet kepada magnet yang lain kemudian dapat digambarkan sebagai interaksi antara salah satu magnet dan medan magnet dari magnet lain. Sama seperti kita menggambarkan garis-garis medan listrik, kita juga dapat menggambarkan garis-garis medan magnet. Oersted (1777-1851) menunjukkan bahwa arus listrik menghasilkan medan magnet. Dia telah menemukan hubungan antara listrik dan magnet melalui percobaannya kompas yang ditempatkan dekat kawat yang membawa arus listrik maka jarum kompas akan berbelok sesuai garis-garis medan magnet yang dihasilkan (Giancoli, 2014: 137-139).

Apabila muatan  $q$  memiliki kecepatan  $\mathbf{v}$  dalam medan magnetik  $\mathbf{B}$ , akan terdapat gaya yang bergantung pada  $q$ , besar kecepatan dan arahnya. Gaya magnetik  $\mathbf{F}$  pada muatan tersebut adalah:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (2.5)$$

(Tipler, 2001: 211).

Medan magnet  $\mathbf{B}$  yang disebabkan oleh muatan  $Q$  yang bergerak dengan kecepatan  $\mathbf{v}$  dan posisi  $\mathbf{r}$  adalah:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 Q}{4\pi r^2} \mathbf{v} \times \mathbf{r} \quad (2.6)$$

(Jati dan Priyambodo, 2010: 87).

Apabila seutas kawat menyalurkan arus dalam medan magnetik, terdapat gaya pada kawat tersebut yang sama dengan penjumlahan gaya magnetik pada partikel bermuatan yang geraknya menghasilkan arus. Potongan kawat berpenampang  $A$  dan panjang  $l$  yang menyalurkan arus  $I$ . Jika kawat berada pada medan magnet  $\mathbf{B}$ , gaya magnetik pada setiap muatan adalah  $q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ , dengan  $\mathbf{v}$  merupakan kecepatan dari pembawa muatan. Jumlah muatan dalam kawat merupakan jumlah  $n$  per satuan volume  $Al$ . Dengan demikian gaya total pada kawat ini adalah:

$$\mathbf{F} = (q\mathbf{v} \times \mathbf{B})nAl$$

Dengan,

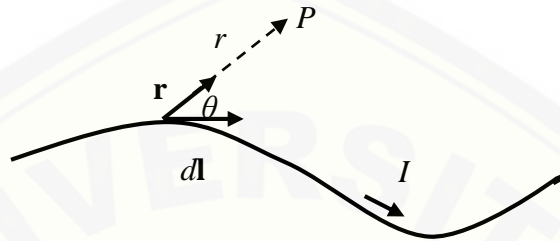
$$I = nqvA$$

Jadi gayanya,

$$\mathbf{F} = Il \times \mathbf{B} \quad (2.7)$$

(Tipler, 2001: 214).

Hukum Biot-Savart menerangkan hubungan matematis antara arus listrik dalam kawat dengan medan magnet yang dihasilkannya. Ditinjau sebuah elemen kawat sebagai vektor memanjang  $d\mathbf{l}$  yang berarus tetap  $I$  sehingga menimbulkan medan magnet ( $d\mathbf{B}$ ) di titik  $P$  pada posisi  $\mathbf{r}$  dari  $d\mathbf{l}$ .



Gambar 2.7 Kawat berarus  $I$  yang menimbulkan medan magnet di titik  $P$  (Sumber: Jati dan Priyambodo, 2010: 88)

Jika di dalam elemen  $d\mathbf{l}$  terdapat muatan  $dQ$  yang bergerak dengan kecepatan  $\mathbf{v}$  dan berarah sejajar dengan  $d\mathbf{l}$  maka titik  $P$  bermedan magnet:

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 dQ}{4\pi r^2} \mathbf{v} \times \mathbf{r} \quad (2.8)$$

Penampilan skalar dari  $dB$  dinyatakan:

$$dB = \frac{\mu_0 dQ}{4\pi r^2} v \sin\theta \quad (2.9)$$

Mengingat  $dQ = Idt$ , dan  $dt = \frac{dl}{v}$  maka:

$$dB = \frac{\mu_0 Idl}{4\pi r^2} \sin\theta \quad \text{atau secara vektor:} \quad (2.10)$$

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} d\mathbf{l} \times \mathbf{r}$$

Persamaan 2.10 merupakan penampilan matematis dari hukum Biot-Savart.

Hukum Ampere dipakai untuk menghitung kuat medan magnet di sekitar konduktor yang berarus listrik, dan juga mencari sebaran arus listrik pada sebuah konduktor. Untuk kawat lurus berarus listrik  $I$  memberikan kuat medan magnet  $B$  pada jarak  $r$ , garis-garis medan magnetnya membentuk lingkaran dengan kawat di pusatnya. Misalkan lintasan melingkar tersebut dibagi menjadi 100 segmen, maka hukum Ampere menyatakan bahwa:

$$\sum B_{\parallel} \Delta l = \mu_0 I \quad (2.11)$$

$$(B \Delta l)_1 + (B \Delta l)_2 + (B \Delta l)_3 + \dots + (B \Delta l)_{100} = \mu_0 I$$

Titik-titik yang merepresentasikan semua suku tidak dituliskan semuanya. Semua segmen adalah berjarak sama dari kawat.

$$B (\Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 + \dots + \Delta l_{100}) = \mu_0 I$$

Jumlah panjang segmen  $\Delta l$  sama dengan keliling lingkaran  $2\pi r$ . Oleh karena itu dapat dituliskan sebagai berikut:

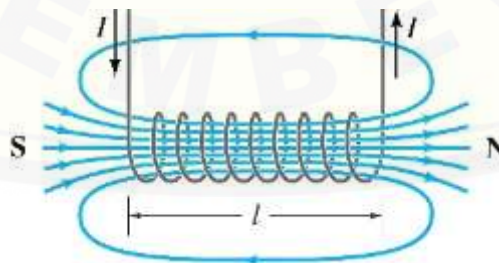
$$B(2\pi r) = \mu_0 I$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (2.12)$$

(Giancoli, 2014: 153).

### 2.3.3 Solenoid dan Elektromagnet

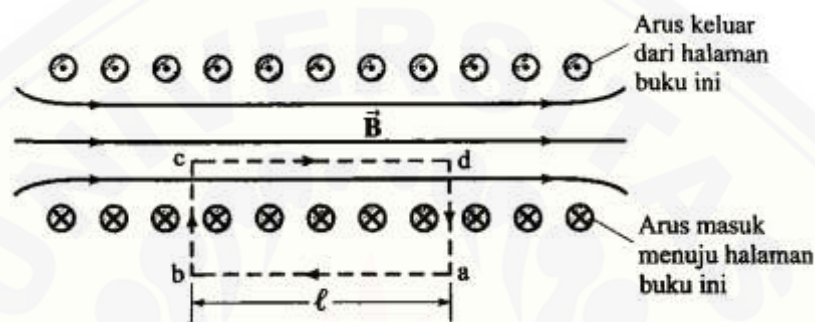
Sebuah kumparan panjang kawat berbahan konduktor yang terdiri dari banyak loop (atau lilitan) kawat disebut solenoid. Arus dalam setiap loop menghasilkan medan magnet. Medan magnet di dalam solenoida jauh lebih besar dibanding dengan di luar solenoida karena merupakan jumlah dari medan magnet akibat arus di setiap loop (Jati dan Priyambodo, 2010: 93). Sebuah solenoid berlaku seperti sebuah magnet, salah satu ujung dapat dianggap kutub utara dan ujung lainnya kutub selatan, tergantung arah arus dalam loop. Gambar 2.8 menunjukkan medan magnet dari sebuah solenoid.



Gambar 2.8 Medan magnet dari sebuah solenoid (Sumber: Giancoli, 2014: 151)



Jika solenoid memiliki banyak loop dan mereka tersusun rapat, medan magnet di dalamnya akan hampir seragam dan sejajar dengan sumbu solenoid kecuali di ujungnya seperti pada Gambar 2.8 di atas. Di luar solenoid, garis-garis medan magnet menyebar dalam ruang, sehingga medan magnet jauh lebih lemah daripada di dalam. Untuk menentukan medan magnet di dalam solenoid dapat menggunakan hukum Ampere. Untuk menerapkan hukum Ampere, dipilih lintasan abcd yang jauh dari kedua ujung solenoid, seperti pada Gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9 Pandangan penampang melintang solenoid (Sumber: Giancoli, 2014: 154)

Lintasan ini dianggap terdiri dari empat segmen lurus, sisi-sisi persegi panjang: ab, bc, cd, da. Maka hukum Ampere menjadi:

$$(B_{\parallel} \Delta l)_{ab} + (B_{\parallel} \Delta l)_{bc} + (B_{\parallel} \Delta l)_{cd} + (B_{\parallel} \Delta l)_{da} = \mu_0 I$$

Suku pertama pada ruas kiri akan (hampir) nol karena medan magnet di luar solenoid dapat diabaikan dibandingkan dengan medan magnet di dalam solenoid. Lebih lanjut,  $\mathbf{B}$  tegak lurus terhadap segmen bc dan da, sehingga kedua suku ini juga nol. Dengan demikian pada ruas kiri persamaan Ampere hanya dituliskan  $(B_{\parallel} \Delta l)_{cd} = Bl$  di mana  $B$  adalah medan magnet dalam solenoid, dan  $l$  adalah panjang cd. Maka dapat ditetapkan  $Bl$  sama dengan  $\mu_0$  dikalikan arus total yang dikelilingi oleh loop persegi panjang yang telah dipilih: jika suatu arus  $I$  mengalir dalam kawat solenoid, arus total yang dikelilingi oleh lintasan abcd adalah  $NI$ , di mana  $N$  adalah jumlah loop (lilitan) yang dikelilingi lintasan. Dengan demikian hukum Ampere dapat menentukan medan magnet di dalam solenoid yang terlilit rapat dengan  $N$  lilitan kawat dengan panjang  $l$  yang masing-masing membawa arus  $I$ , adalah:

$$Bl = \mu_0 NI$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} \quad (2.13)$$

Jika sepotong besi ditempatkan di dalam solenoid, medan magnet akan meningkat dengan sangat besar karena besi menjadi magnet. Medan magnet yang dihasilkan merupakan jumlah medan magnet akibat arus dan medan magnet akibat besi, dan magnitudonya dapat ratusan atau ribuan kali medan akibat arus. Solenoid dengan inti besi semacam ini adalah sebuah elektromagnet (Giancoli, 2014: 151).

## 2.4 Induksi Elektromagnetik

Induksi elektromagnetik membahas dua cara dimana kelistrikan dan kemagnetan saling berhubungan: 1) arus listrik menghasilkan medan magnet, dan 2) medan magnet mengerahkan gaya pada arus listrik atau muatan listrik yang bergerak (Giancoli, 2014: 172).

### 2.4.1 Fluks Magnetik

Fluks magnetik merupakan analog dengan fluks listrik. Dalam hal ini, fluks magnetik  $\phi_m$  didefinisikan sebagai perkalian medan magnetik  $\mathbf{B}$  dengan luasan yang dibatasi rangkaiannya.

$$\phi_m = \mathbf{B}A \quad (2.14)$$

Untuk kumparan yang terdiri atas  $N$  lilitan, fluks yang melalui kumparan tersebut adalah  $N$  kali fluks yang melalui lilitan tunggal:

$$\phi_m = NBA \cos \theta \quad (2.15)$$

Untuk hal umum dimana  $\mathbf{B}$  tidak perlu konstan di seluruh luasannya, fluksnya adalah:

$$\phi_m = \int N\mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{n}} \, dA = \int NB_n \, dA \quad (2.16)$$

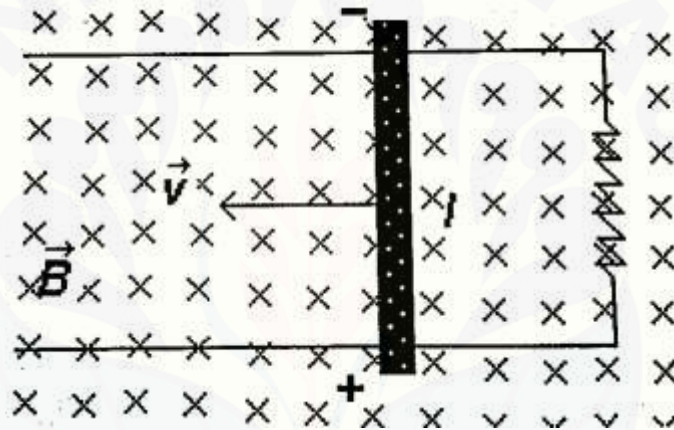
(Tipler, 2001: 280-281).

### 2.4.2 Ggl Induksi

Medan listrik dikerahkan tidak hanya oleh muatan diam, tetapi dapat juga oleh medan magnet yang berubah terhadap waktu. Medan magnet itu menghasilkan medan listrik sehingga medan listrik yang dihasilkan itu disebut medan listrik

induksi. Medan listrik induksi bersifat tidak konservatif dan bila bekerja pada untai tertutup menghasilkan arus listrik (Jati dan Priyambodo, 2010: 103). Faraday menyatakan bahwa meskipun medan magnet konstan tidak menghasilkan arus pada konduktor, namun perubahan medan magnet dapat menghasilkan arus listrik. Arus ini disebut arus induksi (Giancoli, 2014: 173).

Jika ditinjau kawat sepanjang  $l$  bergerak pada kelajuan  $v$  dengan memotong garis-garis medan magnet homogen  $\mathbf{B}$  secara tegak lurus seperti pada Gambar 2.10, maka timbul beda potensial pada kedua ujung kawat dan itu disebut gaya gerak listrik (ggl) induksi dan dilambangkan  $\varepsilon$ .



Gambar 2.10 Pemotongan medan magnet oleh sebuah konduktor (Sumber: Jati dan Priyambodo, 2010: 104)

Gaya gerak listrik  $\varepsilon$  bersatuan volt. Mengacu pada Gambar 2.10,  $\varepsilon$  memenuhi persamaan:

$$\varepsilon = Blv \quad (2.17)$$

Persamaan (2.17) memperlihatkan bahwa  $\varepsilon$  senilai dengan laju pemotongan (berubahnya) fluks medan magnet (Jati dan Priyambodo, 2010: 104).

### 2.4.3 Hukum Faraday

Ggl induksi juga dapat ditimbulkan oleh medan magnet yang berubah terhadap waktu. Dirumuskan oleh Faraday tentang ggl induksi  $\varepsilon$  bahwa ggl induksi senilai dengan laju penyapuan fluks magnet (Jati dan Priyambodo, 2010: 105). Ggl



merupakan kerja yang dilakukan permuatan satuan. Gaya permuatan satuan merupakan medan listrik  $\mathbf{E}$ , yang dalam hal ini diinduksi oleh fluks yang berubah tadi. Dinyatakan dalam persamaan berikut:

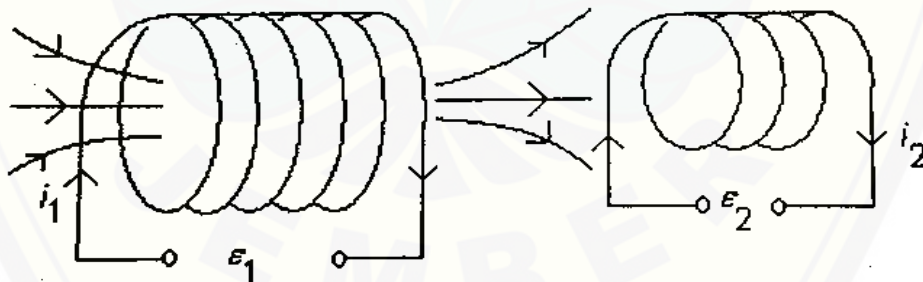
$$\varepsilon = \oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\phi_m}{dt} \quad (2.18)$$

(Tipler, 2001: 283).

Dimaknai bahwa  $\varepsilon$  adalah senilai dengan laju perubahan fluks medan magnet oleh luasan di dalam rangkaian. Hasil ini dikenal sebagai hukum Faraday. Tanda negatif dalam hukum Faraday terkait dengan arah ggl induksinya.

#### 2.4.4 Induktansi

Bila terdapat kumparan yang dialiri arus listrik dan arus itu fungsi waktu, maka dihasilkan perubahan fluks medan magnet dalam kumparan (kumparan pertama). Perubahan fluks magnet juga terjadi pada kumparan yang berada di dekatnya (kumparan kedua). Perubahan fluks medan magnet di kumparan kedua disebabkan induksi oleh kumparan pertama, dan di kumparan kedua timbul ggl yang disebut ggl induksi.



Gambar 2.11 Kumparan 1 (kiri) menghasilkan perubahan fluks medan magnet yang ditangkap kumparan 2 (kanan) (Sumber: Jati dan Priyambodo, 2010: 108)

Ggl induksi di kumparan kedua, dilambangkan  $\varepsilon_2$ , memenuhi persamaan:

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\phi_{B1}}{dt} \quad (2.19)$$

Dimana  $d\phi_{B1}$  merupakan fluks medan magnet ditangkap di kumparan kedua yang dihasilkan oleh kumparan pertama. Nilai  $d\phi_{B1}$  sebanding dengan  $i_1$ , sehingga ditulis  $\phi_{B1} = L_{21}i_1$ . Dari persamaan (2.19), selanjutnya diperoleh:

$$\varepsilon_2 = -L_{21} \frac{di_1}{dt} \quad (2.20)$$

Kumparan pertama, juga mendapat ggl induksi dari kumparan kedua, yaitu  $\varepsilon_1$ , yang memenuhi persamaan:

$$\varepsilon_1 = -L_{12} \frac{di_2}{dt} \quad (2.21)$$

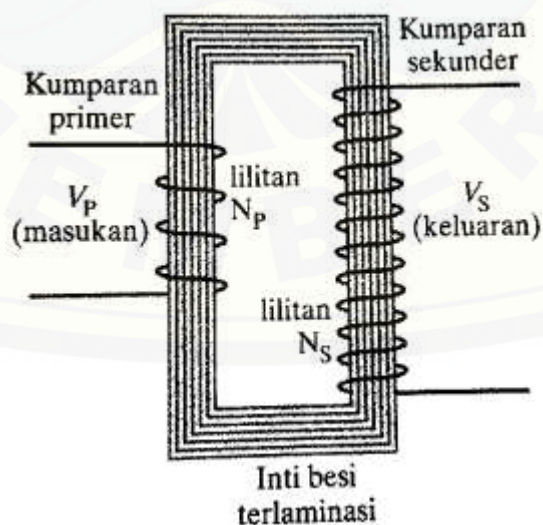
(Jati dan Priyambodo, 2010: 108-109).

#### 2.4.5 Transformator

Sebuah transformator memiliki dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder yang biasanya dihubungkan dengan inti besi lunak. Dari hukum Faraday, voltase atau ggl terinduksi pada kumparan sekunder adalah:

$$V_S = N_S \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} \quad (2.22)$$

dimana  $N_S$  adalah jumlah lilitan pada kumparan sekunder, dan  $\Delta\Phi_B/\Delta t$  adalah laju perubahan fluks magnet.



Gambar 2.12 Transformator step-up (Sumber: Giancoli, 2014: 185)

Voltase masukan pada kumparan primer,  $V_P$  juga berhubungan dengan laju perubahan fluks magnet:

$$V_P = N_P \frac{\Delta\Phi B}{\Delta t} \quad (2.23)$$

dimana  $N_P$  adalah jumlah lilitan pada kumparan primer. Ini terjadi karena perubahan fluks menghasilkan ggl balik,  $N_P \Delta\Phi B / \Delta t$ , di kumparan primer yang sama besar dengan voltase yang diberikan  $V_P$  jika resistansi di kumparan primer dapat diabaikan (aturan Kirchoff). Kita membagi kedua persamaan ini, dengan asumsi bahwa fluks yang hilang sangat kecil atau tidak ada, untuk memperoleh:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P} \quad (2.24)$$

Jika  $N_S > N_P$ , maka kita dapatkan transformator step-up. Sedangkan  $N_S < N_P$ , maka kita dapatkan transformator step-down. Meskipun kita dapat menaikkan atau menurunkan voltase ac dengan transformator, tetap terdapat efisiensi daya maksimal yang dapat dihasilkan. Transformator yang dirancang dengan baik dapat memiliki efisiensi lebih dari 99 persen. Karena daya  $P = IV$ , kita dapatkan:

$$I_P V_P = I_S V_S$$

atau

$$\frac{I_P}{I_S} = \frac{N_S}{N_P} \quad (2.25)$$

(Giancoli, 2014: 185-186).

## 2.5 Alat Induksi Elektromagnetik

Untuk menentukan kadar mineral logam pada beragam bahan (batuan) yang ditambang, misalnya kadar besi di dalam pasir besi biasa dilakukan dengan metode magnetik (Herianto, 2009). Dalam penelitian ini digunakan alat yang telah dibuat oleh Jati dan Mahmudin (2012). Alat ini dapat menampilkan ggl induksi pada koil sekunder di osiloskop karena adanya bahan uji isian di dalam kumparan primer berarus AC dan tegangannya tetap.

Jika terdapat medan magnet yang dihasilkan oleh sumbernya  $\mathbf{H}$  (dalam oersted), maka di ruang hampa yang permeabilitas magnetnya  $\mu_0$  bermedan magnet  $\mathbf{B}$  (dalam gauss), dinyatakan dalam kaitan:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} \quad (2.26)$$

Persamaan (2.26) memperlihatkan hubungan kesebandingan antara  $\mathbf{B}$  dengan  $\mathbf{H}$ . Bedanya  $\mathbf{H}$  selalu tetap pada sumber medan magnet yang tetap, sedangkan  $\mathbf{B}$  bergantung pada  $\mathbf{H}$  dan jenis bahan mediumnya. Jenis bahan medium itu dinyatakan dalam bentuk permeabilitas bahan itu ( $\mu$ ), sehingga  $\mathbf{B}$  di medium itu dinyatakan:

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (2.27a)$$

atau bila dinyatakan dalam bentuk kuat medan magnetnya:

$$B = \mu_0 H \quad (2.27b)$$

Selain bergantung pada jenis bahan, ternyata  $\mu$  juga bergantung pada suhu bahan dan kuat medan magnet yang bekerja. Keberadaan nilai  $\mu$  bahan berkaitan dengan sifat magnetiknya, sehingga bahan itu termasuk ferromagnetik, ferrimagnetik, paramagnetik, ataukah diamagnetik.

Persamaan (2.27) memperlihatkan bahwa besarnya  $B$  (ketika  $H$  tetap) bergantung pada  $\mu$  dari bahan itu. Jika bahan itu (dalam penelitian ini disebut bahan uji) menderita radiasi  $H$  maka  $B$  menjadi lebih besar bila  $\mu$  bahan itu bernilai besar. Jika  $H$  dihasilkan oleh koil berarus listrik tetap yang bolak-balik, pada luas penampang kumparan  $A$  yang tetap, pada luasan penampang kumparan  $A$  yang tetap, maka fluks medan magnet yang terjadi di dalam kumparan adalah:

$$d\phi = \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} \quad (2.28)$$

Akibatnya, ggl induksi yang dihasilkan oleh koil sekunder:

$$\varepsilon = \frac{d\phi}{dt} = A\mu dH/dt \quad (2.29)$$

Mengacu pada persamaan (2.29), pada nilai  $H$ ,  $A$ , dan frekuensi arus listrik yang tetap (berarti  $dH/dt$  bernilai tetap), maka ggl induksi pada koil sekunder ( $\varepsilon$ ) selalu sebanding dengan permeabilitas ( $\mu$ ) dari bahan uji yang berada dalam silinder. Artinya sifat magnetik bahan uji dapat ditentukan berdasar nilai  $\varepsilon$  yang dihasilkan dari koil sekunder.

Rancang bangun dari alat induksi elektromagnetik ini terdiri dari silinder geometri silinder berukuran: panjang 10,0 cm dan diameternya 1,6 cm. Sepanjang sumbu silinder itu diletakkan sebuah tabung (bervolume  $200 \pm 2 \text{ mm}^3$ ) yang merupakan lokasi bahan uji ditempatkan. Bagian luar silinder itu (gambar 2.12) dililiti 2 kumparan, yang memberikan kumparan primer (200 lilitan) dan sekunder (160 lilitan). kumparan primer membentuk koil primer (terhubung dengan travo 6V yang memberikan arus listrik 2A), sedangkan kumparan sekunder memberikan koil sekunder dan terhubung dengan sebuah osiloskop.



Gambar 2.13 Potret alat induksi elektromagnetik (Sumber: Jati dan Mahmudin, 2012)

Keterangan:

A: trafo

B: kumparan (primer dan sekunder) dan sebuah tempat bahan uji

C: kabel tempat arus listrik masuk

D: kabel tempat arus listrik keluar





Gambar 2.14 Bagan set-up penelitian (Sumber: Jati dan Mahmudin, 2012)

Keterangan:

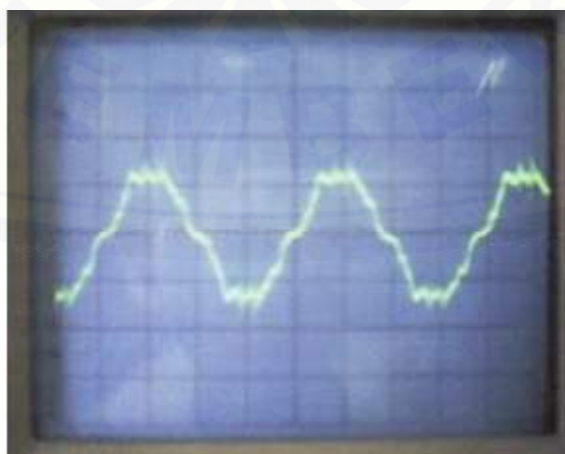
A: alat induksi magnetik

B: multimeter

C: osiloskop

D: saklar

Besarnya ggl induksi yang dihasilkan oleh kumparan sekunder dapat dibaca di layar osiloskop, bersatuan mV, dalam bentuk tegangan dari puncak ke puncak seperti pada Gambar 2.15 di bawah ini.



Gambar 2.15 Contoh ggl induksi pada bahan isian pasir gunung merapi (Sumber: Jati dan Mahmudin 2012)

Setelah set-up osiloskop telah diatur maka pada layar osiloskop akan terdapat gambar gelombang seperti pada Gambar 2.15 di atas. Pembacaan skala pada osiloskop seperti pada contoh Gambar 2.16 di bawah ini. Batas ukur volt/div (pengukur tegangan puncak ke puncak) adalah 0,2 V, maka nilai skala terkecil volt/div dapat ditentukan:

$$\text{NST volt/div} = \frac{\text{batas ukur}}{\text{jumlah skala}} = \frac{0,2 \text{ V}}{5 \text{ skala}} = 1 \text{ V/skala}$$

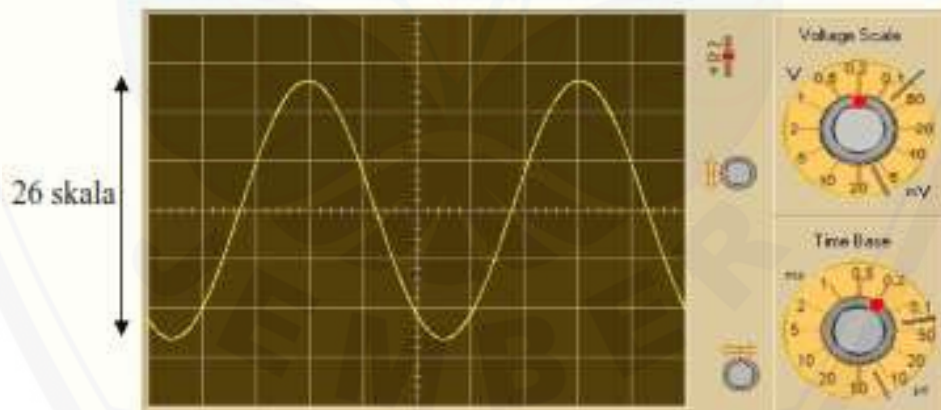
Sedangkan batas ukur time/div (pengukur waktu atau periode gelombang) adalah 0,2 ms, maka nilai skala terkecil time/div dapat ditentukan:

$$\text{NST time/div} = \frac{\text{batas ukur}}{\text{jumlah skala}} = \frac{0,2 \text{ ms}}{5 \text{ skala}} = 1 \text{ ms/skala}$$

Sebagai contoh pada Gambar 2.16 di bawah ini terukur dan terbaca skala vertikal adalah 26 skala dan penunjukan skala horizontal adalah 38 skala, maka nilai tegangan puncak ke puncak dapat ditentukan:

$$V_{pp} = \text{penunjuk skala vertikal} \times \text{NST volt/div}$$

$$V_{pp} = 26 \times 1 \text{ V/div} = 26 \text{ V}$$



Gambar 2.16 Pembacaan skala pada osiloskop

## 2.6 Spektrofotometri Serapan Atom

Skoog (2000) menyatakan bahwa suatu metode analisis kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan banyaknya radiasi yang dihasilkan atau diserap oleh spesi atom atau molekul analit yaitu spektrometri. Salah satu metode yang termasuk

dalam spektrometri adalah spektrofotometri serapan atom (SSA). Spektrofotometri serapan atom merupakan metode analisis unsur secara kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas. Khopkar (1990) menjelaskan terkait kelebihan spektrofotometri serapan atom yaitu memiliki kepekaan dan ketelitian yang tinggi karena dapat mengukur kandungan logam dengan satuan ppm, analisisnya cepat, hanya memerlukan sedikit sampel, dan dapat digunakan untuk menentukan kadar logam yang konsentrasinya kecil tanpa dipisahkan terlebih dahulu. Keberhasilan analisis ini bergantung pada proses eksitasi dan memperoleh garis resonansi yang tepat. Ketika suatu atom pada keadaan dasar mengalami eksitasi maka akan meningkat tingkat energinya.

Hartati (1995) menyatakan bahwa sebelum dilakukan metode spektrofotometri serapan atom, terlebih dahulu harus melalui tahap destruksi. Destruksi adalah suatu metoda pendahuluan yang digunakan untuk menganalisis logam dengan matrik organik yang terikat pada logam tersebut. Destruksi merupakan suatu tahap yang penting dalam prosedur analisis kimia, tahap-tahap yang dilalui adalah penggerusan sampel, pengayakan sampel dan diikuti dengan tahap destruksi menggunakan asam-asam kuat seperti HCl, HNO<sub>3</sub>, campuran HCl dengan HNO<sub>3</sub> dengan perbandingan 3:1. Berdasarkan Nurhaini dan Afandi (2016) perhitungan konsentrasi logam Fe dapat dilakukan dengan persamaan (2.30).

$$C = A \times \left(\frac{V}{B}\right) \quad (2.30)$$

Keterangan:

- A : absorbansi yang di dapat dari hasil pengukuran
- B : berat sampel (gram)
- C : konsentrasi logam besi (ppm)
- V : volume sampel (mL)

### **BAB 3. METODE PENELITIAN**

Pada bab metode penelitian akan dijelaskan beberapa hal meliputi: 1) jenis penelitian, 2) tempat dan waktu penelitian, 3) variabel penelitian, 4) definisi operasional penelitian, 5) alat dan bahan, 6) alur penelitian, 7) teknik penyajian data, dan 8) teknik analisis data.

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksplorasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara nilai ggl induksi dengan nilai kandungan besi pada pasir besi melalui metode induksi elektromagnetik dan spektrofotometri serapan atom serta menganalisis potensi kandungan besi berdasarkan nilai ggl induksi yang dihasilkan.

#### **3.2 Tempat dan Waktu Penelitian**

##### **3.2.1 Tempat Penelitian**

Tempat penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Pendidikan Fisika dan laboratorium CDAST Universitas Jember. Sedangkan untuk tempat pengambilan bahan uji pasir di pantai Bambang (Lumajang), pantai Wotgalih (Lumajang) dan pantai Paseban (Jember). Selain akses yang mudah dijangkau, pemilihan tempat pengambilan bahan uji sesuai dengan BAPPEDA (2012) yang menyatakan wilayah kabupaten Lumajang tersebut memiliki potensi pasir besi yang diperkirakan berasal dari gunung Semeru yang masih aktif, pasir besi tersebut dibawa melalui aliran air sungai hingga ke laut.

##### **3.2.2 Waktu Penelitian**

Waktu pelaksanaan kegiatan penelitian ini dimulai pada bulan Maret 2018.

#### **3.3 Variabel Penelitian**

Beberapa variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah bahan uji pasir besi.
- b. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah ggl induksi pada bahan uji pasir besi dan kandungan besi (Fe).
- c. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah alat induksi elektromagnetik dan alat spektrofotometri serapan atom.

### 3.4 Definisi Operasional Penelitian

Definisi operasional variabel merupakan uraian terbatas terkait istilah-istilah kunci yang ada dalam penelitian ini, diberikan untuk menghindari pengertian yang meluas atau perbedaan persepsi dalam mengartikan beberapa variabel dalam penelitian ini. Adapun definisi operasional variabel yang terdapat pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

- a. Potensi kandungan besi (Fe) pada pasir besi adalah ukuran seberapa besar kandungan unsur besi (Fe) yang tersimpan dalam pasir besi dalam satuan mg/g.
- b. Ggl induksi adalah timbulnya gaya gerak listrik dalam kumparan yang mencakup sejumlah fluks garis gaya medan magnetik, dengan kuat medan berubah terhadap waktu. Dalam penelitian ini mengasumsikan bila  $H$  dihasilkan oleh koil berarus listrik AC yang tetap, pada luasan penampang kumparan  $A$  yang tetap, maka fluks medan magnet yang terjadi di dalam kumparan adalah:

$$d\phi = \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} \quad (3.1)$$

Akibatnya, ggl induksi yang dihasilkan oleh koil sekunder:

$$\varepsilon = \frac{d\phi}{dt} = A\mu dH/dt \quad (3.2)$$

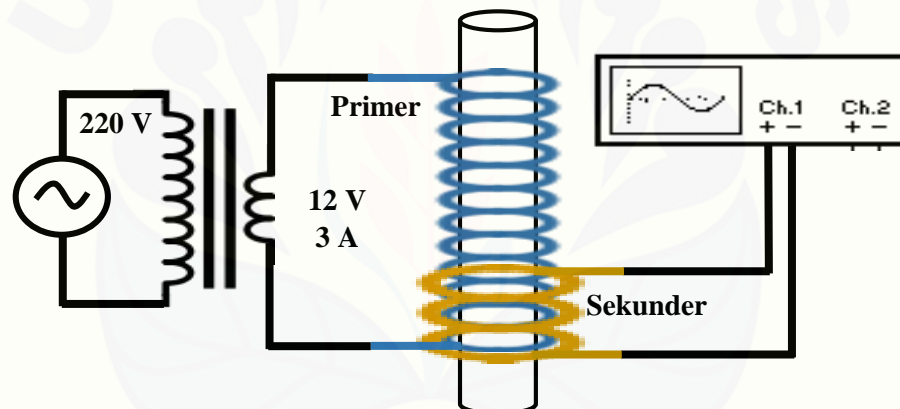
Mengacu pada persamaan tersebut, pada nilai  $H$ ,  $A$ , dan frekuensi arus listrik yang tetap (berarti  $dH/dt$  bernilai tetap), maka ggl induksi ( $\varepsilon$ ) selalu sebanding dengan permeabilitas ( $\mu$ ) dari bahan uji yang berada dalam kumparan. Artinya sifat magnetik bahan uji dapat ditentukan berdasar nilai  $\varepsilon$  yang dihasilkan, sehingga dapat menggambarkan potensi kandungan besi yang dimiliki pada pasir besi. Ggl induksi yang diukur dalam volt (Jati dan Mahmudin, 2012).



### 3.5 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan alat yang sebelumnya telah dirancang oleh Jati dan Mahmudin (2012), antara lain:

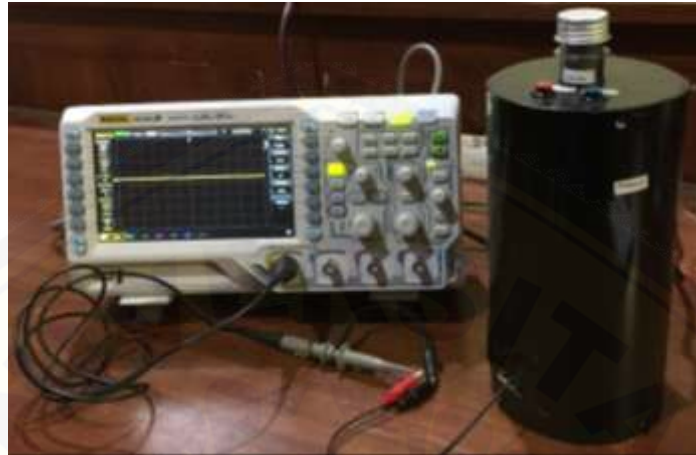
- Trafo
- Kumparan (primer dan sekunder)
- Tabung tempat bahan uji
- Kabel penghubung
- Multimeter
- Osiloskop
- Saklar
- Bahan uji pasir besi



Gambar 3.1 Rangkaian alat induksi elektromagnetik

Gambar 3.1 merupakan susunan rangkaian alat induksi elektromagnetik yang digunakan dalam penelitian ini. Dengan membuat silinder berukuran panjang 10 cm dan diameternya 3 cm. Dalam silinder tersebut diletakkan sebuah tabung yang merupakan lokasi bahan uji ditempatkan. Bagian luar silinder terdapat 2 kumparan kawat, yang memberikan kumparan primer 800 lilitan dan kumparan sekunder 500 lilitan. Kumparan primer terhubung dengan trafo 12 V yang mengalirkan arus listrik AC sebesar 3 A, sedangkan kumparan sekunder terhubung dengan osiloskop. Besarnya ggl induksi yang dihasilkan oleh kumparan sekunder dapat dibaca di layar

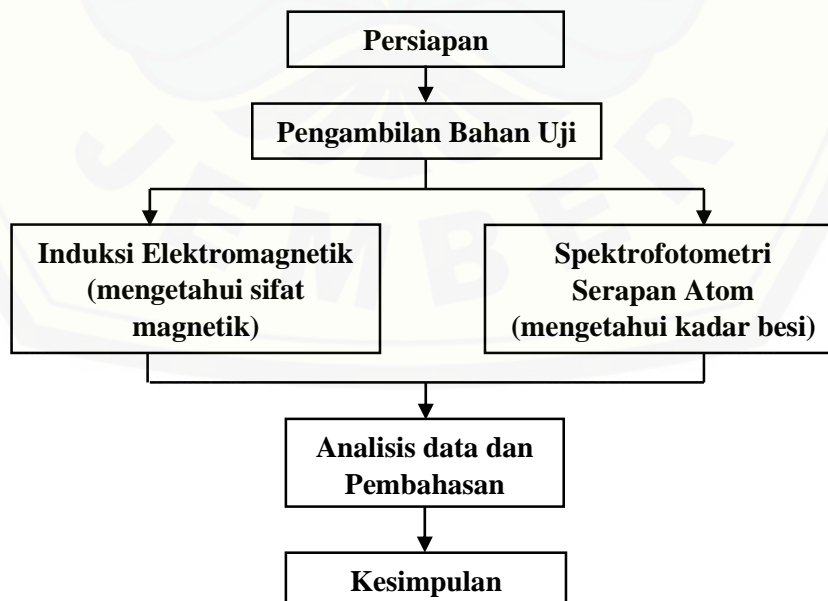
osiloskop bersatuan volt, dalam bentuk tegangan puncak ke puncak. Bentuk fisik dari alat induksi elektromagnetik dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Set-up alat induksi elektromagnetik

### 3.6 Alur Penelitian

Alur penelitian digunakan sebagai acuan untuk menyelesaikan penelitian ini secara terstruktur. Berikut ini Gambar 3.3 adalah diagram alur penelitian yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini.



Gambar 3.3 Diagram alur penelitian

Berdasarkan Gambar 3.3 alur penelitian ini melalui beberapa tahapan yaitu persiapan, pengambilan bahan uji, uji induksi magnetik, uji spektrofotometri serapan atom, analisis data, pembahasan, dan kesimpulan. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.6.1 Persiapan

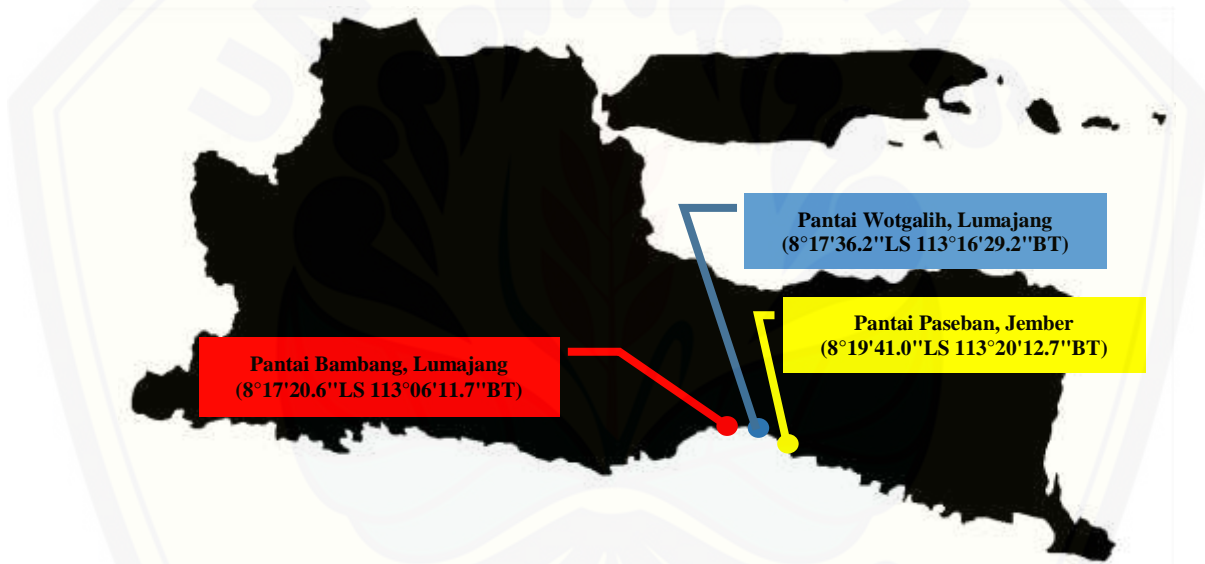
Tahap persiapan meliputi beberapa hal yaitu melakukan observasi pada lokasi pengambilan bahan uji dengan memetakan titik lokasi pengambilan bahan uji disekitar muara aliran air sungai ke laut, perijinan tempat pelaksanaan penelitian di laboratorium, serta mempersiapkan alat dan bahan. Kemudian merangkai alat induksi elektromagnetik yang digunakan untuk mengukur ggl induksi dari bahan uji pasir besi.

#### 3.6.2 Pengambilan Bahan Uji

Tahap pengambilan bahan uji dilakukan secara langsung di lokasi pantai sesuai dengan pemetaan lokasi titik yang telah ditentukan. Pada setiap wilayah pantai diambil dua titik lokasi pengambilan bahan uji, yaitu tepi pantai dan aliran muara. Pemilihan dua titik lokasi pengambilan bahan uji dengan mempertimbangkan proses dari pembentukan endapan pasir besi yang ditentukan oleh beberapa faktor antara lain batuan asal, proses perombakan, media transportasi, proses, serta tempat pengendapannya. Sumber mineral endapan pasir besi pantai sebagian besar berasal dari batuan gunung api bersifat andesitik dan basaltik. Proses perombakan terjadi karena pelapukan batuan akibat adanya proses alam seperti panas dan hujan yang membuat butiran mineral terlepas dari batuanannya. Media transportasi endapan pasir besi antara lain: aliran sungai, gelombang, dan arus laut. Proses transportasi membawa material lapukan dari batuan asal, menyebabkan mineral-mineral terangkut hingga ke muara, kemudian gelombang dan arus laut mencuci dan memisahkan mineral-mineral tersebut berdasarkan perbedaan berat jenisnya. Di daerah pantai, mineral diendapkan kembali oleh gelombang air laut yang menghempas ke pantai. Akibat hempasan tersebut, sebagian besar mineral yang mempunyai berat jenis yang besar akan terendapkan di pantai, sedangkan mineral berat yang berat jenisnya lebih ringan

akan kembali terbawa oleh arus balik kembali ke laut, demikian terjadi secara terus menerus hingga terjadi endapan pasir besi di pantai. Tempat pengendapan pasir besi umumnya terjadi pada pantai yang landai, sedangkan pada pantai yang curam sulit terjadi proses pengendapan.

Beberapa lokasi pantai antara lain wilayah pantai Bambang kabupaten Lumajang ( $8^{\circ}17'20.6''\text{LS } 113^{\circ}06'11.7''\text{BT}$ ), pantai Wotgalih kabupaten Lumajang ( $8^{\circ}17'36.2''\text{LS } 113^{\circ}16'29.2''\text{BT}$ ), dan pantai Paseban kabupaten Jember ( $8^{\circ}19'41.0''\text{LS } 113^{\circ}20'12.7''\text{BT}$ ). Lokasi pengambilan bahan uji seperti pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 Lokasi pengambilan bahan uji pasir besi

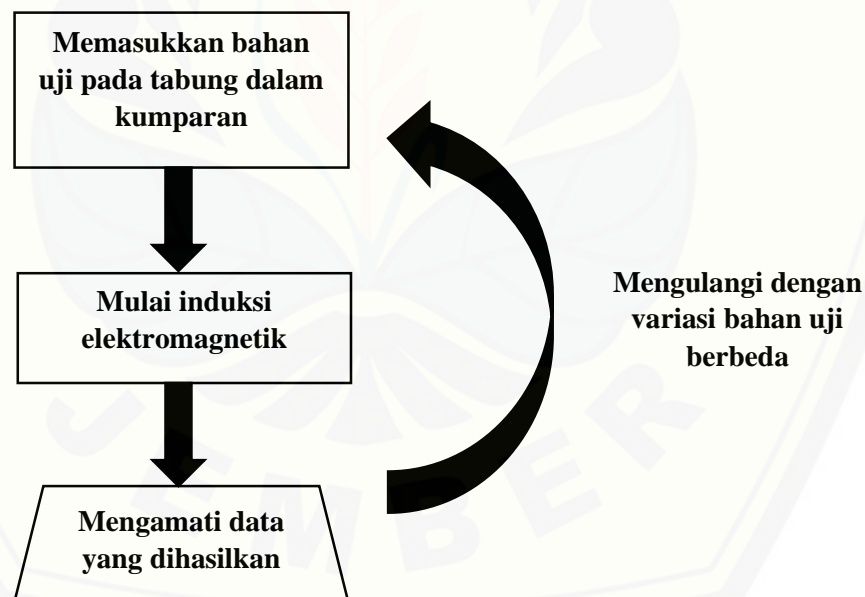
Pasir yang diambil yaitu pasir yang berada pada permukaan yang memiliki butiran yang halus. Digunakan magnet permanen untuk ekstraksi butiran pasir yang mengandung pasir besi. Proses ekstraksi pasir besi dari material lain menggunakan magnet permanen yang terbungkus plastik sehingga mudah untuk memisahkan material pasir besi dengan magnet permanen. Pasir yang digunakan sebagai bahan uji dalam keadaan kering, sehingga dilakukan pengeringan secara alami di bawah sinar matahari. Sebagai pembanding bahan uji pasir besi juga digunakan pasir

bangunan yang diambil di sekitar wilayah Universitas Jember. Pasir bangunan tersebut digunakan sebagai bahan uji kontrol.

### 3.6.3 Penelitian

#### a. Induksi elektromagnetik

Dilaksanakan di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Jember. Bahan uji pasir besi dimasukkan pada tabung yang berada dalam kumparan untuk dilakukan induksi elektromagnetik. Hasil yang didapatkan berupa ggl induksi pada koil sekunder di layar osiloskop karena adanya bahan uji isian di dalam kumparan primer berarus AC dan tegangan yang tetap. Pengukuran bahan uji dilakukan pengulangan sebanyak lima kali pada masing-masing bahan uji. Diagram alur induksi elektromagnetik ditunjukkan pada Gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5 Diagram alur induksi elektromagnetik

#### b. Spektrofotometri serapan atom

Dilakukan di laboratorium CDAST Universitas Jember. Bahan uji berupa pasir besi akan menjalani beberapa tahap sebelum dilakukan pengukuran kandungan besi (Fe) dengan metode spektrofotometri serapan atom. Untuk pengujian



kandungan besi pada pasir besi dilakukan pada salah satu dari titik pengambilan bahan uji yang dianggap dapat mewakili, yaitu bahan uji yang diambil dari titik lokasi pengambilan di muara sungai ke laut. Setelah sampel melalui tahap destruksi dan sampel telah berbentuk ekstraksi, maka sampel dapat diukur kandungan besinya dengan spektrofotometri serapan atom.

#### 3.6.4 Analisis Data dan Pembahasan

Data yang didapatkan berupa data ggl induksi bersatuan volt dan data kandungan besi bersatuan mg/g akan ditabulasikan ke dalam tabel dan dianalisis sesuai dengan teori, serta akan dilakukan pembahasan secara deskriptif. Analisis data dilakukan menggunakan spss 23 melalui uji korelasi pearson, untuk mengetahui nilai dan arah hubungan antara variabel ggl induksi dengan variabel kandungan besi bahan uji.

#### 3.6.5 Kesimpulan

Penarikan kesimpulan dilakukan sesuai dengan keseluruhan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan serta menjawab rumusan masalah yang telah ditentukan.

### 3.7 Teknik Penyajian Data

Data yang diperoleh dari hasil eksperimen akan ditabulasikan ke dalam tabel berikut:

Tabel 3.1 Pengukuran ggl induksi bahan uji

No.	Bahan Uji	Titik Lokasi	Ggl Induksi (V)
1.	Pasir Besi Pantai Bambang	Tepi Pantai	
		Aliran Muara	
2.	Pasir Besi Pantai Wotgalih	Tepi Pantai	
		Aliran Muara	
3.	Pasir Besi Pantai Paseban	Tepi Pantai	
		Aliran Muara	
4.	Pasir Bangunan	Jember	

Tabel 3.2 Pengukuran kandungan besi (Fe) bahan uji

No.	Bahan Uji	Titik Lokasi	Fe (mg/g)
1.	Pasir Besi Pantai Bambang	Tepi Pantai	
		Aliran Muara	
2.	Pasir Besi Pantai Wotgalih	Tepi Pantai	
		Aliran Muara	
3.	Pasir Besi Pantai Paseban	Tepi Pantai	
		Aliran Muara	
4.	Pasir Bangunan	Jember	

### 3.8 Teknik Analisis Data

Data yang didapatkan berupa data ggl induksi bersatuan volt dan data kandungan besi bersatuan mg/g akan ditabulasikan ke dalam tabel dan dianalisis sesuai dengan teori, serta akan dilakukan pembahasan secara deskriptif. Berdasarkan nilai ggl induksi yang dianggap mewakili nilai sifat magnetik bahan atau permeabilitas bahan ( $\mu$ ) dianalisis terkait potensi kandungan besinya. Analisis juga dilakukan terhadap hubungan antara variabel ggl induksi dengan variabel kandungan besi pada pasir besi melalui uji korelasi pearson serta pola sebaran endapan pasir besi pada batasan wilayah penelitian, hasil analisis akan dijelaskan dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Di bawah ini Tabel 3.3 merupakan tabel analisis data.

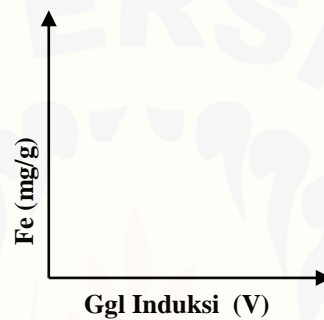
Tabel 3.3 Analisis data hasil pengukuran ggl induksi dan kandungan besi (Fe)

No.	Bahan Uji	Titik Lokasi	Ggl Induksi (V)	Fe (mg/g)
1.	Pasir Besi Pantai Bambang	Tepi Pantai		
		Aliran Muara		
2.	Pasir Besi Pantai Wotgalih	Tepi Pantai		
		Aliran Muara		
3.	Pasir Besi Pantai Paseban	Tepi Pantai		
		Aliran Muara		
4.	Pasir Bangunan	Jember		

Kriteria uji korelasi pearson:

- a. Tolak  $H_0$  apabila nilai korelasi pearson  $r = 0$  berarti tidak terdapat hubungan antara variabel ggl induksi dengan variabel kandungan besi.
- b. Terima  $H_0$  apabila nilai korelasi pearson  $r \neq 0$  berarti terdapat hubungan antara variabel ggl induksi dengan variabel kandungan besi.

Representasi grafik hubungan antara ggl induksi dengan kandungan besi bahan uji seperti pada Gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 3.6 Grafik hubungan antara ggl induksi dengan kandungan besi (Fe) pada bahan uji pasir besi

Perhitungan ketidakpastian relatif dari hasil pengukuran ggl induksi bahan uji pasir besi disajikan dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.4 Ketidakpastian relatif hasil pengukuran ggl induksi

Nama Bahan Uji				
No.	$x$	$ x - \bar{x} $	$ x - \bar{x} ^2$	
1.				$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$
2.				
3.				$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum  x - \bar{x} ^2}{n(n - 1)}}$
4.				
5.				ketidakpastian relatif = $\frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100 \%$
$\Sigma$				

## BAB 5. PENUTUP

Pada bab penutup akan dijelaskan beberapa hal meliputi: 1) kesimpulan dan 2) saran.

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Keseluruhan data yang diperoleh dari hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan keselarasan antara ggl induksi dengan kandungan besi (Fe) pada pasir besi. Berdasarkan hasil analisis korelasi pearson terdapat hubungan (korelasi positif) antara dua variabel ggl induksi dengan kandungan besi pada bahan uji. Hasil uji korelasi pearson menunjukkan bahwa nilai korelasi pearson tidak sama dengan nol yaitu 0,964, sedangkan untuk nilai signifikansi menunjukkan  $0,001 < 0,05$  dengan demikian korelasi dari kedua variabel tersebut adalah signifikan. Diketahui bahwa semakin besar ggl induksi pada pasir besi maka semakin besar pula kandungan besi (Fe) yang terkandung dalam pasir besi.
- b. Potensi kandungan besi dapat diketahui berdasarkan nilai ggl induksi. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa semakin besar nilai ggl induksi yang dihasilkan maka semakin besar pula potensi kandungan besi yang ada pada suatu bahan, karena besarnya ggl induksi dipengaruhi oleh banyaknya kandungan unsur besi yang dapat merespon medan magnet yang mempengaruhinya. Pasir besi berada di dalam kumparan dan menjadi inti di dalam kumparan, sehingga meningkatkan nilai induktansi di dalam kumparan. Hasil penelitian menunjukkan titik lokasi aliran muara memiliki nilai ggl induksi yang lebih besar dibandingkan dengan titik lokasi tepi pantai. Pasir besi pantai Bambang memiliki nilai ggl induksi yang paling tinggi dibandingkan dengan pasir besi pantai yang lain, sehingga pasir besi pantai Bambang memiliki potensi kandungan besi yang lebih besar dibandingkan pasir besi

yang lain. Didapatkan hasil rata-rata ggl induksi bahan uji di titik lokasi tepi pantai Bambang sebesar 3,46 V dan hasil rata-rata ggl induksi bahan uji di titik lokasi aliran muara pantai Bambang sebesar 3,57 V.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka saran yang dapat diajukan adalah sebagai berikut:

- a. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait potensi pasir besi khususnya di Jawa Timur, untuk mengembangkan potensi sumber pasir besi yang ada.
- b. Untuk penelitian sejenis selanjutnya disarankan menggunakan sensor magnetik, sehingga dapat mengukur variabel lainnya.
- c. Menambahkan lcd digital pada rangkaian alat sehingga tidak hanya membaca hasil dari osiloskop, namun juga dapat menampilkan data digital realtime yang dapat meningkatkan akurasi pembacaan hasil pengukuran.
- d. Dalam aspek pendidikan dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran terkait aplikasi konsep induksi elektromagnetik.
- e. Aplikasi dari penelitian ini sebaiknya digunakan sebagai rujukan dalam mengembangkan eksplorasi pasir besi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Afdal, dan L. Niarti. 2013. Karakterisasi sifat magnet dan kandungan mineral pasir besi sungai batang kuraji padang sumatera barat. *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*. 5 (1): 24-30.
- BAPPEDA. 2012. Pasir Besi Lumajang Terlulus di RI. <http://bappeda.jatimprov.go.id/2012/01/18/pasir-besi-lumajang-terluas-di-ri/>. [Diakses pada 1 Maret 2018].
- Bilalodin. 2010. Kajian sifat magnetik dari pasir besi pantai logending kabupaten kebumen. *Molekul*. 5 (2): 105-108.
- Bilalodin, Sunardi, dan M. Effendy. 2013. Analisis kandungan senyawa kimia dan uji sifat magnetik pasir besi pantai ambal. *Jurnal Fisika Indonesia*. XVII (50): 29-31.
- Collins, A. L., Walling D. E., Leeks, G. J. L. 1997. Fingerprinting the origin of fluvial suspended sediment in larger river basins-combining assessment of spatial provenance and source type. *Geografika Annaler. Series A, Physical Geography*. 79 (4): 239-254.
- D'Haen, K., G. Verstraeten, dan P. Degryse. 2012. Fingerprinting historical fluvial sediment fluxes. *Progress in Physical Geography*. 36 (2): 154-186.
- Dini, A. A., Yulkifli, dan Z. Kamus. 2013. Pengukuran medan magnetik batuan menggunakan sensor fluxgate. *Pillar of Physics*. 2: 33-40.
- Farsito, F. N., Yulkifli, dan F. Mufit. 2013. Desain dan pembuatan alat ukur medan magnetik pasir besi berbasis sensor fluxgate. *Pillar of Physics*. 2: 9-17.
- Geost, Flysh. 2016. Geologi Pasir Besi Ganesa dan Sifat Fisik. <http://www.geologinesia.com/2016/12/geologi-pasir-besi-genesa-dan-sifat-fisik.html>. [Diakses pada 1 Maret 2018].
- Giancoli, D. C. 2014. *Fisika Prinsip dan Aplikasi Edisi ke 7 Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, D., R. Resnick, dan J. Walker. 1989. *Fundamental of Physics*. Canada: Wiley and Sons INC.

- Hartati, R. D. 1995. *Penentuan Kandungan Cu, Pb, Zn, Mg, Ag, Fe, dan Au dalam Contoh Batuan Sulfida dengan SSA dan Beberapa Cara Dekomposinya dalam Standarisasi Metode Analisis dan Produk Olahan Bijih Sulfida*. Padang: LIPI.
- Herianto, E. 2009. *Pengembangan Sumber Daya Mineral Pasir Besi di Indonesia*. Pusat Penelitian Metalurgi. Jakarta: LIPI.
- Jati, B. M. E., dan Mahmudin. 2012. Studi pembuatan alat karakterisasi sifat kemagnetan bahan. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI*. 14 April 2012. *Jurusan Fisika, FMIPA UGM*: 182-185.
- Jati, B. M. E., dan P. T. Kuntoro. 2010. *Fisika Dasar: Listrik-Magnet, Optika, Fisika Modern untuk Mahasiswa Ilmu-Ilmu Eksakta dan Teknik*. Yogyakarta: Andi.
- Krisman, R. Syahadat, dan Erwin. 2017. Penentuan tingkat kemagnetan dan induksi magnetik total endapan pasir laut pantai padang sebagai fungsi kedalaman. *Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia*: 993-998.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Lopes, V. C., dan H. T. Wibowo. 2016. Pemetaan potensi pasir besi di desa umbulsari dan sekitarnya kecamatan tempursari kabupaten lumajang propinsi jawa timur. *Seminar Nasional dan Teknologi Terapan IV Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*: 159-168.
- Lusiyana, A., M. Toifur, dan F. Rohman. 2014. Uji sifat magnetik pasir pantai melalui penentuan permeabilitas relatif menggunakan *logger pro*. *Jurnal Fisika*. 4 (2): 78-82.
- Ma'rifah, S. T. R., Nawiyanto, dan R. Endang W. 2014. Konflik pertambangan pasir besi di desa wotgalih, kecamatan yosowilangun, kabupaten lumajang tahun 2010-2011. *Publika Budaya*. 2 (1): 85-92.
- Mufit, F., Fadhillah, H. Amir, dan S. Bijaksana. 2006. Kajian tentang sifat magnetik pasir besi dari pantai sunur, pariaman, sumatera barat. *Jurnal Geofisika*. (1): 2-5.
- Mufit, F., H. Amir, Fadhilah, dan S. Bijaksana. 2013. Kaitan sifat magnetik dengan tingkat kehitaman (*darkness*) pasir besi di pantai masang sumatera barat. *Eksakta*. 2 Tahun XIV: 70-75.
- Nurhaini, R., dan A. Affandi. 2016. Analisa logam besi (fe) di sungai pasar daerah belangwetan klaten dengan metode spektrofotometri serapan atom. *Jurnal Ilmiah Manuntung*. 2 (1): 39-49.

Salomo, Erwin, Zuhendri, dan Zulkarnain. 2017. Pengukuran induksi magnetik total dan identifikasi kandungan elemen endapan pasir besi di pantai bagian selatan kota padang sumatera barat. *Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia*. April: 999-1005.

Sears, Zemansky. 2012. *University Physics with Modern Physics 13<sup>th</sup> Ed.* San Francisco: Pearson Education Inc.

Skoog, D. A. 2000. *Principle of Instrumental Analysis*. Philadelphia: Saunders.

Tipler, P. A. 2001. *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.

Yahya, Andy. 2014. Dari Mana Asal Pasir Besi.  
<http://www.andyyahya.com/2014/02/pasir-besi-di-indonesia-dari-genesa.html>. [Diakses pada 1 Maret 2018].

## LAMPIRAN A. MATRIK PENELITIAN

Nama : Alfi Firman Syah

NIM : 140210102087

RG : *Elctromagnetics and Dynamic Learning*

JUDUL	TUJUAN PENELITIAN	JENIS PENELITIAN	SUMBER DATA	TEKNIK PENGAMBILAN DATA	ANALISIS DATA	ALUR PENELITIAN
Analisis Potensi Kandungan Besi pada Pasir Melalui Induksi Elektromagnetik	<ol style="list-style-type: none"> <li>Menganalisis potensi kandungan besi pada bahan uji pasir besi berdasarkan ggl induksi yang dihasilkan.</li> <li>Menganalisis hubungan ggl induksi dan kandungan besi (Fe) pada bahan uji pasir besi.</li> </ol>	<p>Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi kandungan besi berdasarkan ggl induksi yang dihasilkan serta hubungannya dengan kandungan besi pada pasir besi melalui induksi elektromagnetik dan</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Hasil pengukuran ggl induksi bahan uji.</li> <li>Hasil pengukuran kandungan besi (Fe) bahan uji.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Mengukur ggl induksi bahan uji melalui induksi elektromagnetik.</li> <li>Mengukur kandungan besi (Fe) bahan uji melalui spektrofotometri serapan atom.</li> </ol>	<p>Data ggl induksi dianalisis terkait potensi kandungan besinya secara deskriptif. Analisis juga dilakukan terhadap hubungan antara variabel ggl induksi dengan variabel kandungan</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Persiapan</li> <li>Pengambilan bahan uji</li> <li>Penelitian</li> <li>Analisis data dan pembahasan hasil penelitian</li> <li>Kesimpulan</li> </ol>

		spektrofotometri serapan atom, serta mengetahui hubungan antara dua variabel tersebut.			besi pada pasir besi melalui uji korelasi pearson serta pola sebaran endapan pasir besi pada batasan wilayah penelitian, hasil analisis akan dijelaskan dan ditampilakn dalam bentuk grafik.	
--	--	--	--	--	--	--



**LAMPIRAN B. DATA HASIL PENELITIAN**

## 1. Tabel Hasil Penelitian

a. Tabel Hasil Pengukuran Ggl Induksi ( $\varepsilon$ ) Bahan Uji

No.	Bahan Uji	Pengukuran ke - (volt)					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
1.	Tepi Pantai Bambang	3,50	3,55	3,35	3,40	3,50	3,46
2.	Tepi Pantai Wotgalih	3,15	3,30	3,15	3,10	3,15	3,17
3.	Tepi Pantai Paseban	3,00	3,05	2,95	2,95	3,05	3,00
4.	Aliran Muara Pantai Bambang	3,60	3,60	3,55	3,50	3,60	3,57
5.	Aliran Muara Pantai Wotgalih	3,25	3,35	3,30	3,20	3,30	3,28
6.	Aliran Muara Pantai Paseban	3,10	3,15	3,10	2,95	3,05	3,05
7.	Pasir Bangunan (kontrol)	2,50	2,90	2,50	2,50	2,50	2,58

Perhitungan:

$vpp = \text{jumlah kotak dan } x \text{ volt/div}$

Pengukuran menggunakan set-up 1 volt/div dan 1 ms/div.

## b. Ketidakpastian Relatif Hasil Pengukuran Ggl Induksi

Pasir Besi Tepi Pantai Bambang				
No.	$x$	$ x - \bar{x} $	$ x - \bar{x} ^2$	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{17,37}{5} = 3,46$
1.	3,50	0,04	0,0016	
2.	3,55	0,09	0,0081	
3.	3,35	0,11	0,0121	
4.	3,40	0,06	0,0036	
5.	3,50	0,04	0,0016	
$\Sigma$	17,37	0,34	0,027	ketidakpastian relatif = $\frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100 \% = \frac{0,037}{3,46} = 1,06 \%$

Pasir Besi Tepi Pantai Wotgalih				
No.	X	$ x - \bar{x} $	$ x - \bar{x} ^2$	
1.	3,15	0,02	0,0004	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{15,85}{5} = 3,17$
2.	3,30	0,13	0,0169	
3.	3,15	0,02	0,0004	$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum  x - \bar{x} ^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,023}{5(4-1)}} = 0,034$
4.	3,10	0,07	0,0049	
5.	3,15	0,02	0,0004	ketidakpastian relatif = $\frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{0,034}{3,17}$ = 1,07 %
$\Sigma$	15,85	0,26	0,023	

Pasir Besi Tepi Pantai Paseban				
No.	X	$ x - \bar{x} $	$ x - \bar{x} ^2$	
1.	3,00	0	0	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{15}{5} = 3$
2.	3,05	0,05	0,0025	
3.	2,95	0,05	0,0025	$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum  x - \bar{x} ^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,01}{5(4-1)}} = 0,022$
4.	2,95	0,05	0,0025	
5.	3,05	0,05	0,0025	ketidakpastian relatif = $\frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{0,022}{3}$ = 0,75 %
$\Sigma$	15	0,2	0,01	

Pasir Besi Aliran Muara Pantai Bambang				
No.	x	$ x - \bar{x} $	$ x - \bar{x} ^2$	
1.	3,60	0,03	0,0009	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{17,85}{5} = 3,57$
2.	3,60	0,03	0,0009	
3.	3,55	0,02	0,0004	$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum  x - \bar{x} ^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,008}{5(4-1)}} = 0,02$
4.	3,50	0,07	0,0049	
5.	3,60	0,03	0,0009	ketidakpastian relatif = $\frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{0,02}{3,57}$ = 0,56 %
$\Sigma$	17,85	0,18	0,008	

Pasir Besi Aliran Muara Pantai Wotgalih				
No.	$x$	$ x - \bar{x} $	$ x - \bar{x} ^2$	
1.	3,25	0,03	0,0009	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{16,4}{5} = 3,28$
2.	3,35	0,07	0,0049	
3.	3,30	0,02	0,0004	$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum  x - \bar{x} ^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,013}{5(4-1)}} = 0,025$
4.	3,20	0,08	0,0064	
5.	3,30	0,02	0,0004	ketidakpastian relatif = $\frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{0,025}{3,28}$ = 0,78%
$\Sigma$	16,4	0,22	0,013	

Pasir Besi Aliran Muara Pantai Paseban				
No.	$x$	$ x - \bar{x} $	$ x - \bar{x} ^2$	
1.	3,10	0,03	0,0009	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{15,35}{5} = 3,07$
2.	3,15	0,08	0,0064	
3.	3,10	0,03	0,0009	$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum  x - \bar{x} ^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,023}{5(4-1)}} = 0,034$
4.	2,95	0,12	0,0144	
5.	3,05	0,02	0,0004	ketidakpastian relatif = $\frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{0,034}{3,07}$ = 1,10 %
$\Sigma$	15,35	0,28	0,023	

Pasir Bangunan (kontrol)				
No.	$x$	$ x - \bar{x} $	$ x - \bar{x} ^2$	
1.	2,50	0,08	0,0064	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{12,9}{5} = 2,58$
2.	2,90	0,32	0,1024	
3.	2,50	0,08	0,0064	$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum  x - \bar{x} ^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,128}{5(4-1)}} = 0,08$
4.	2,50	0,08	0,0064	
5.	2,50	0,08	0,0064	ketidakpastian relatif = $\frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{0,08}{2,58}$ = 3,10 %
$\Sigma$	12,9	0,64	0,128	

c. Tabel Hasil Pengukuran Kandungan Besi (Fe) Bahan Uji

No.	Sampel	Berat (g)	Volume (L)	Absorbansi	Konsentrasi (ppm)	FP	Fe (mg/g)
1.	P.BBG	0,5006	0,05	0,3094	11,7520	100	117,3791
2.	P.WGL	0,5014	0,05	0,2807	10,6190	100	105,8935
3.	P.PSB	0,5007	0,05	0,1982	7,3533	100	73,4302
4.	M.BBG	0,5002	0,05	0,3298	12,5600	100	125,5498
5.	M.WGL	0,5007	0,05	0,2884	10,9210	100	109,0573
6.	M.PSB	0,5009	0,05	0,2715	10,2520	100	102,3358
7.	KONTROL	0,5006	0,05	0,0674	2,5501	100	25,4661

Perhitungan:

$$\text{Fe}(\text{mg/g}) = \frac{C \times \text{FP} \times V}{W}$$

Keterangan:

C : Konsentrasi (mg/L atau ppm)

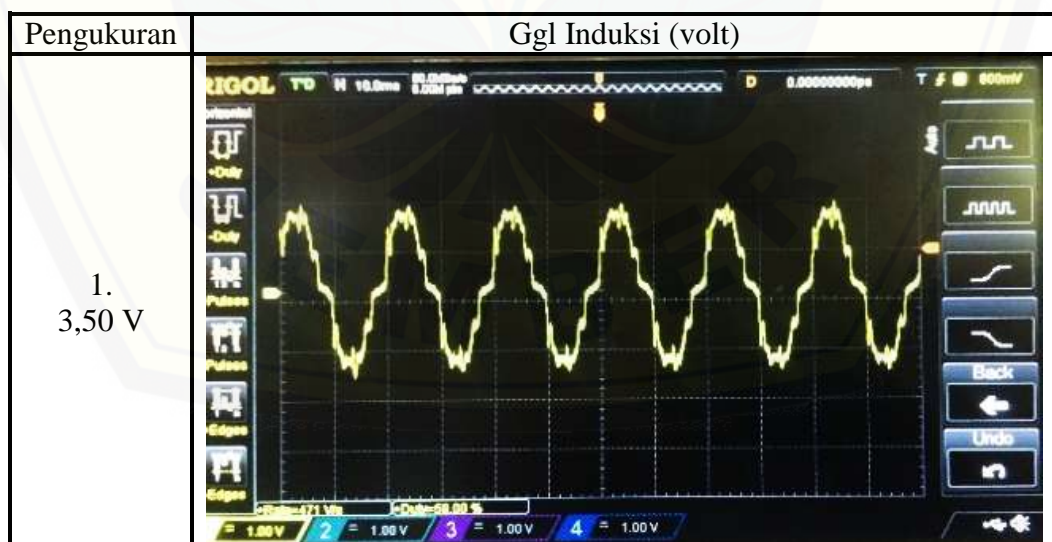
FP : Faktor Pengenceran

V : Volume Sampel (L)

W : Berat Sampel (g)

2. Gambar Gelombang Hasil Pengukuran Ggl Induksi Bahan Uji pada Layar Osiloskop

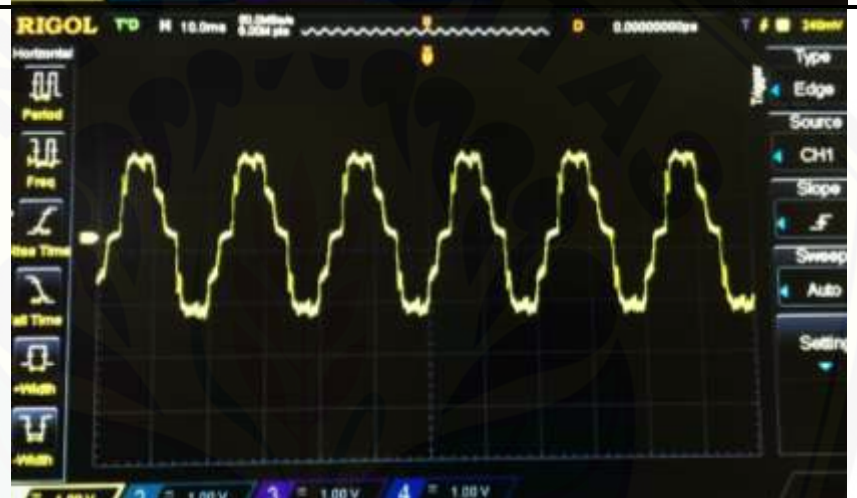
a. Tepi Pantai Bambang



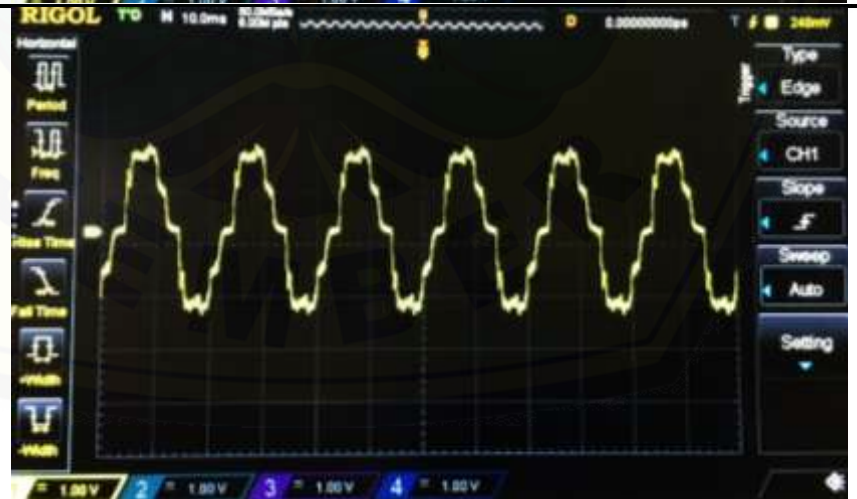
2.  
3,55 V



3.  
3,35 V



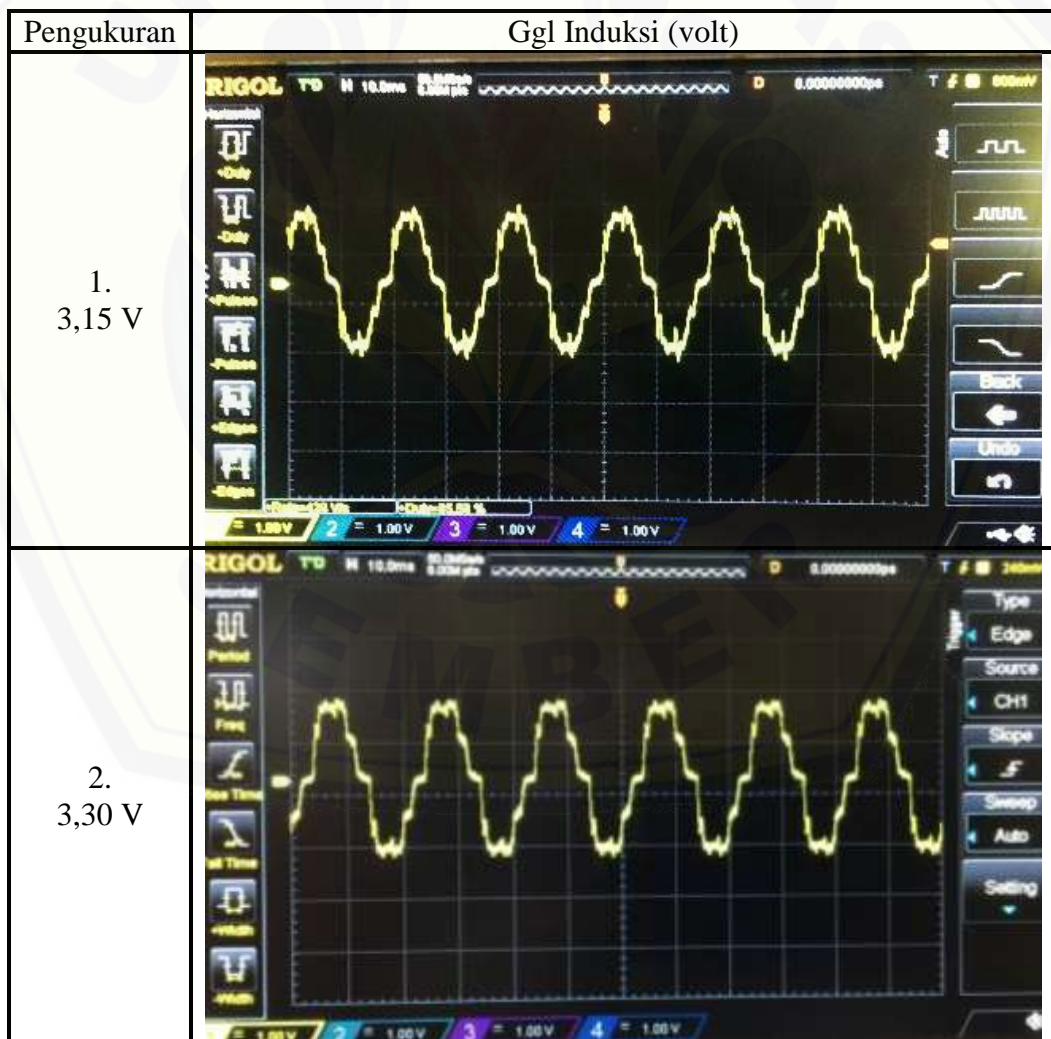
4.  
3,40 V



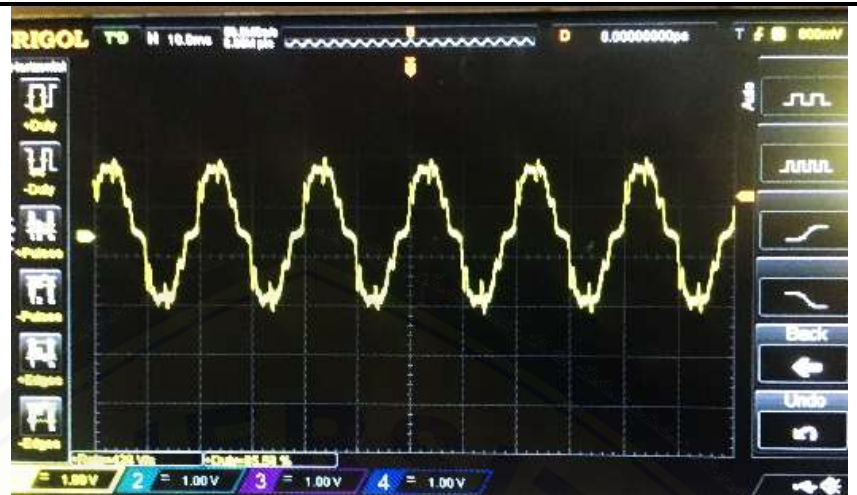




b. Tepi Pantai Wotgalih



3.  
3,15 V



4.  
3,10 V

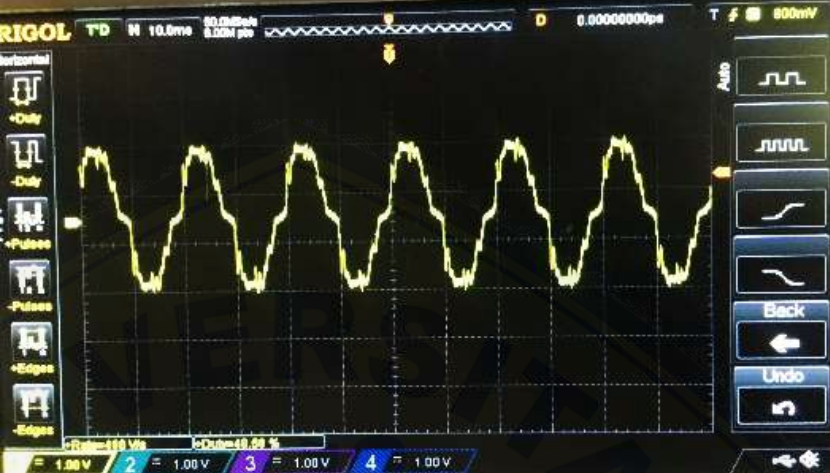
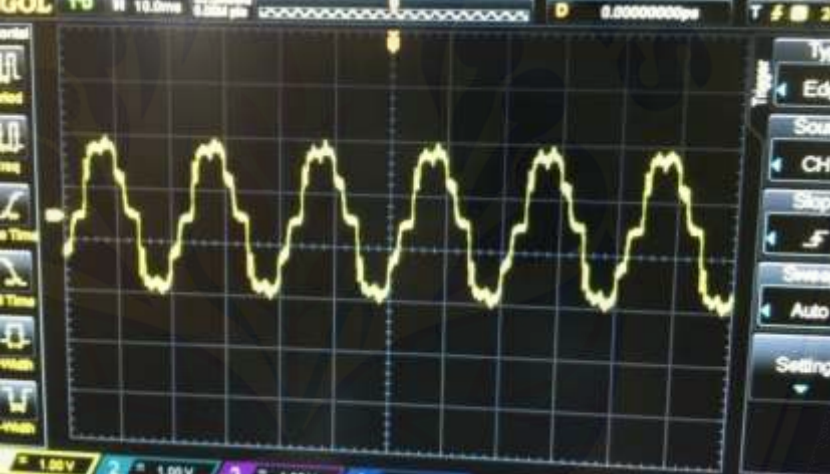



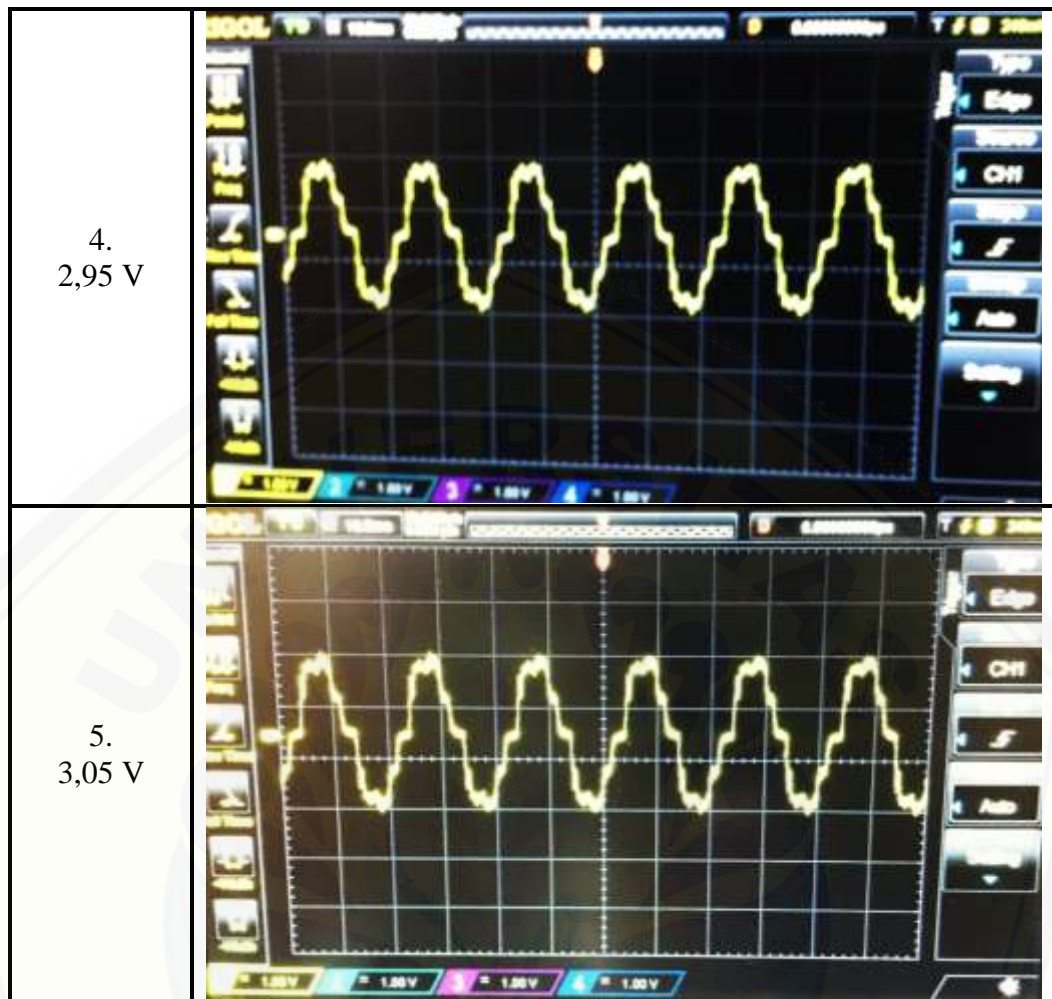
5.  
3,15 V



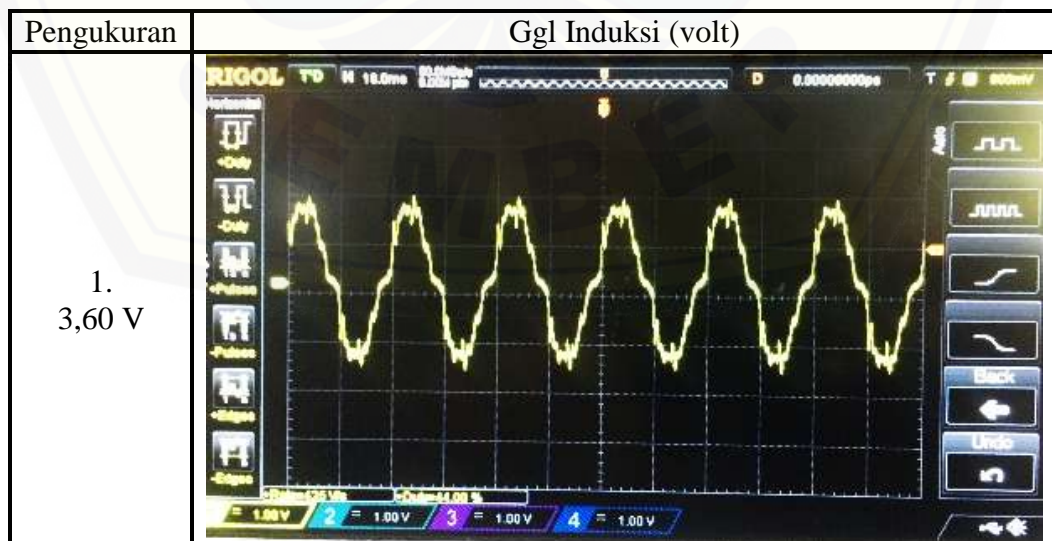


c. Tepi Pantai Paseban

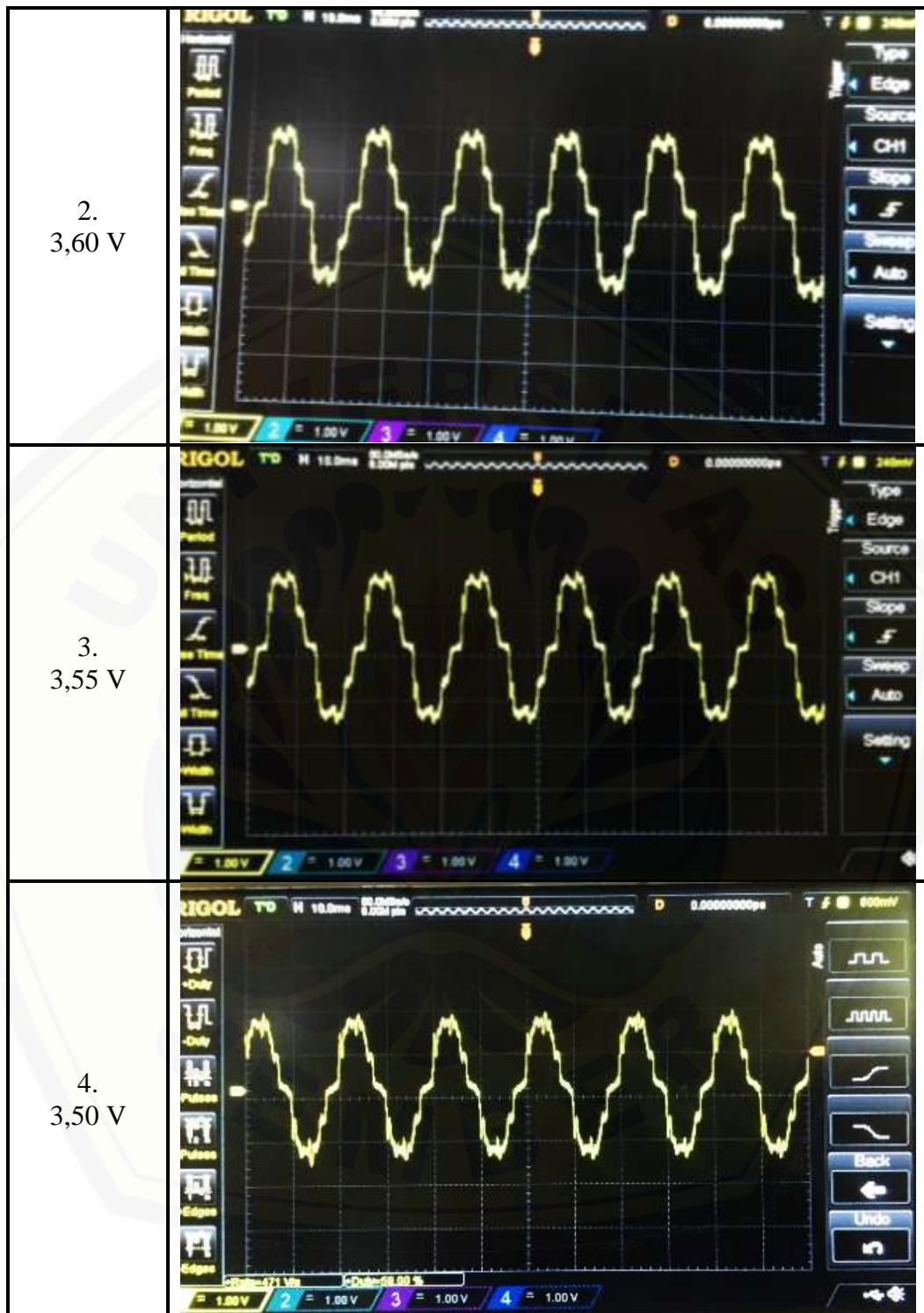
Pengukuran	Ggl Induksi (volt)
<p>1. 3,00 V</p>	
<p>2. 3,05 V</p>	
<p>3. 2,95 V</p>	



d. Aliran Muara Pantai Bambang



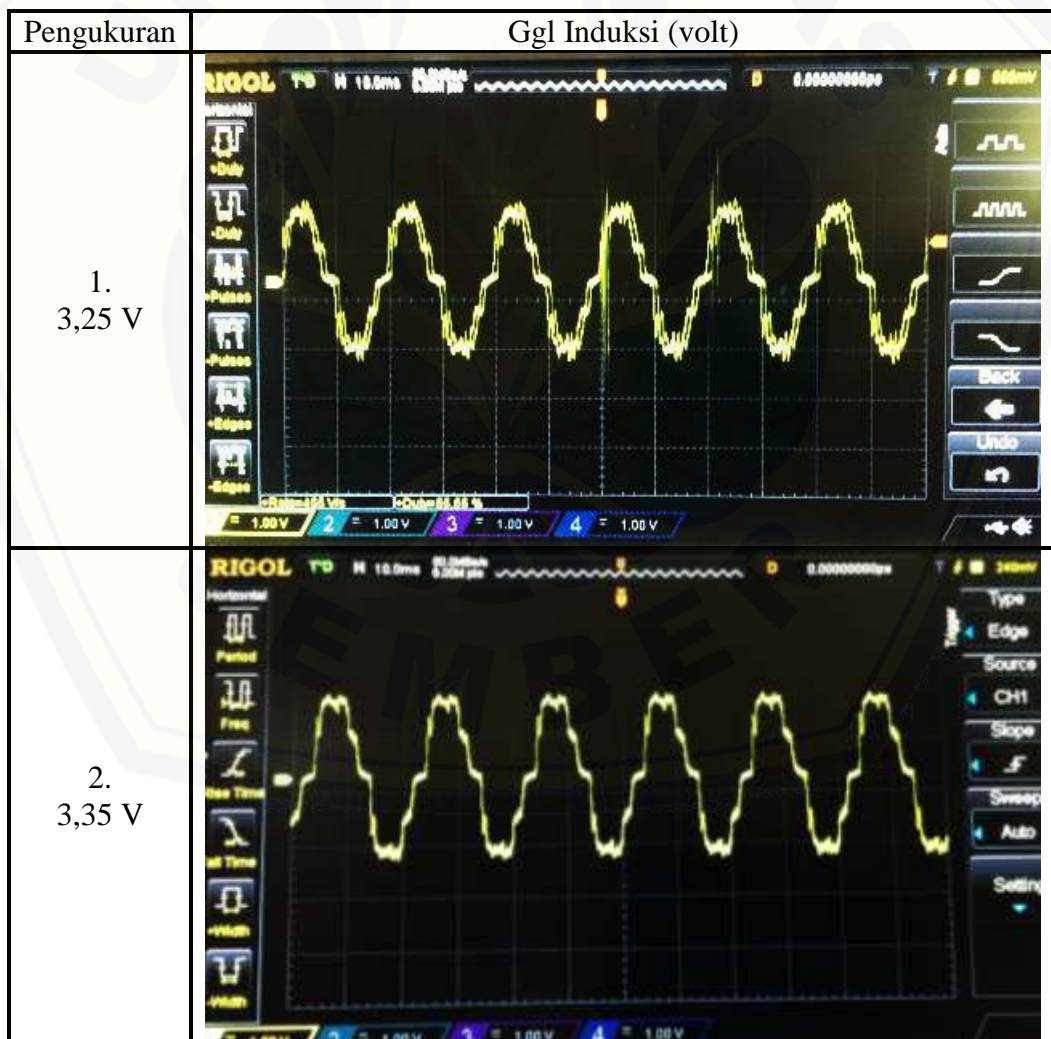








e. Aliran Muara Pantai Wotgalih



3.  
3,30 V



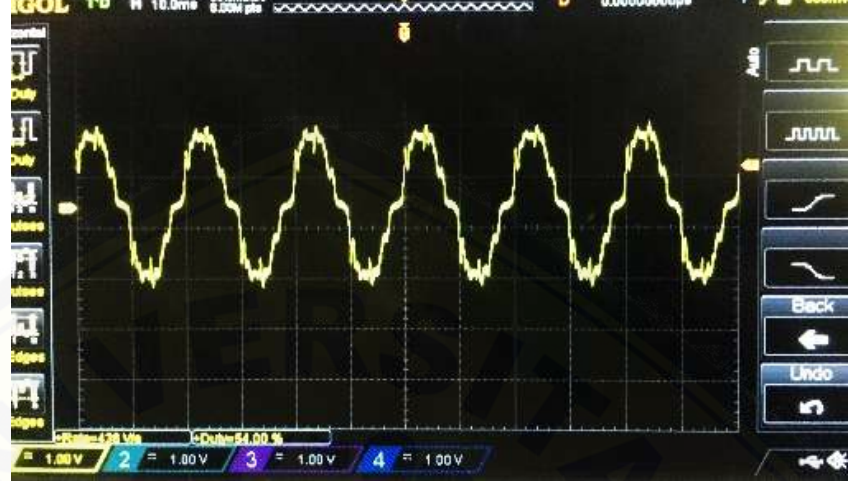

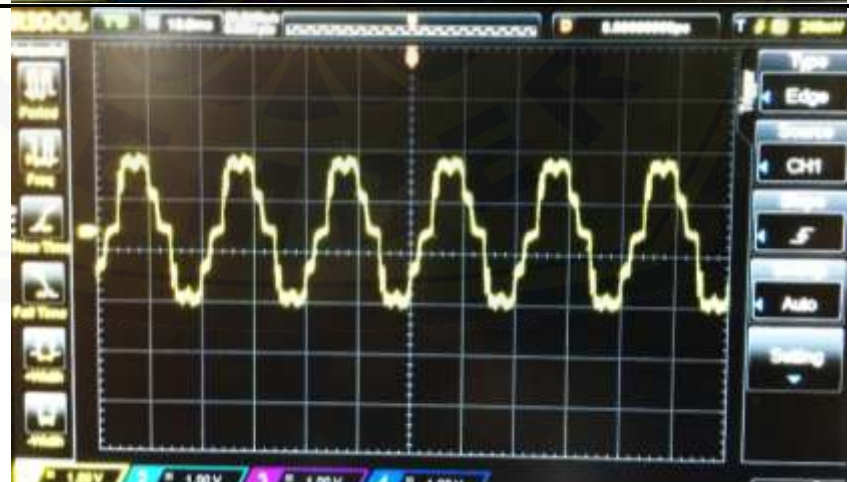
4.  
3,20 V



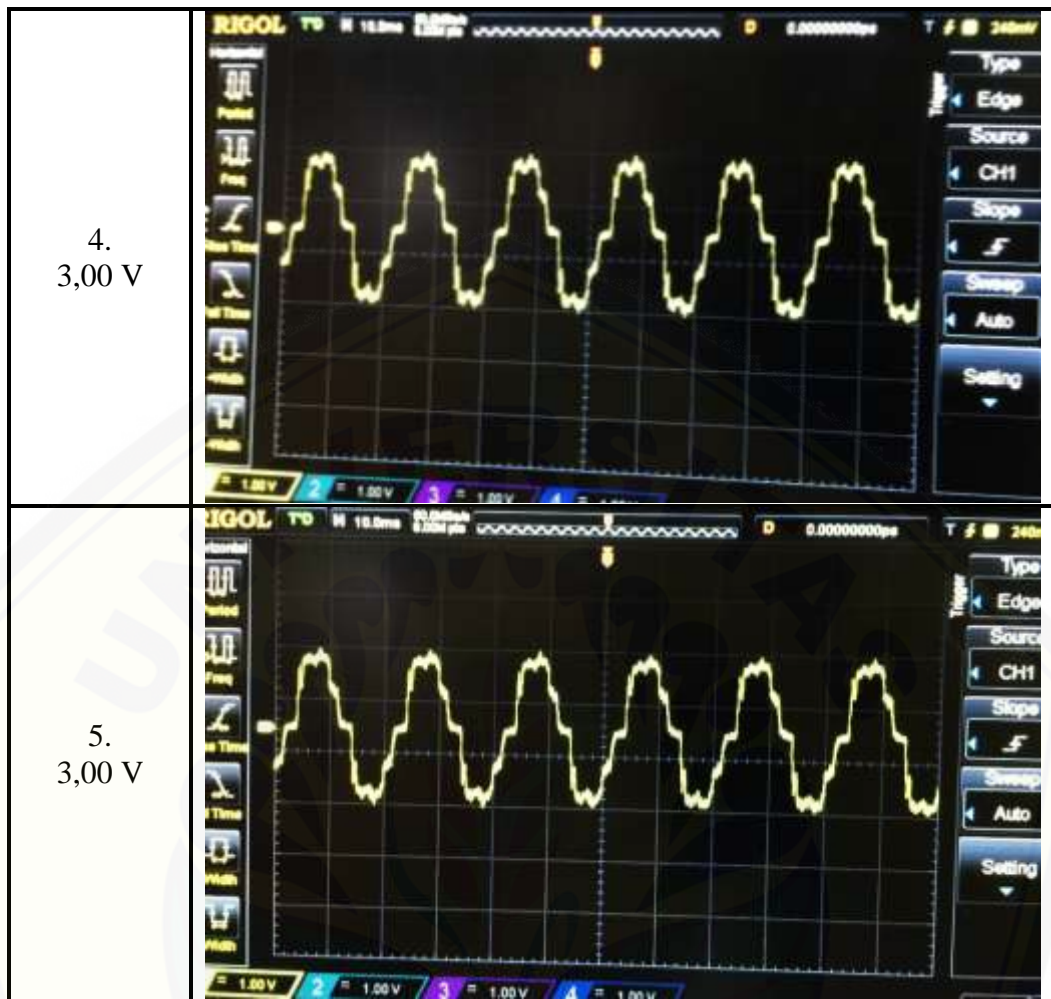
5.  
3,30 V



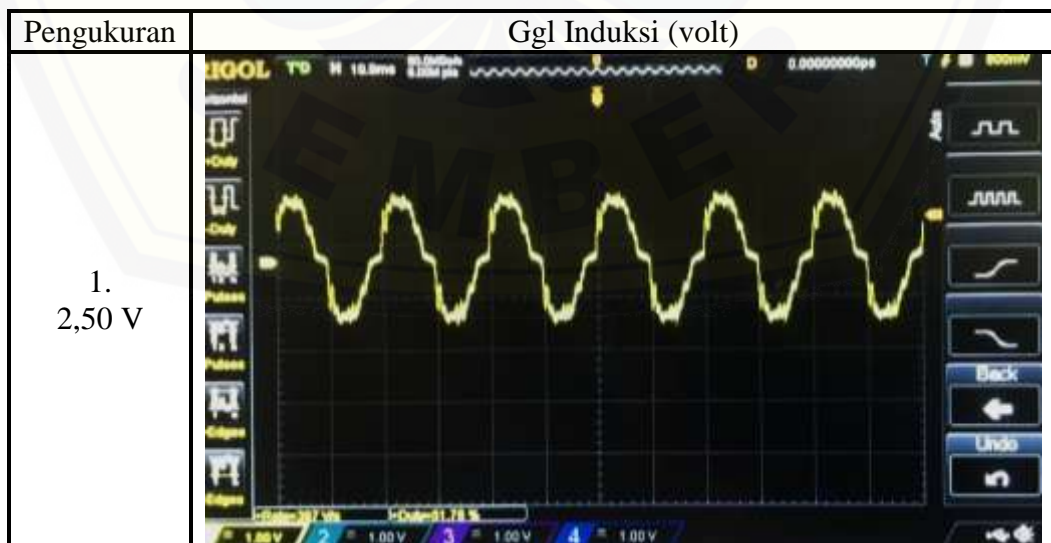
f. Aliran Muara Pantai Paseban

Pengukuran	Ggl Induksi (volt)
<p>1. 3,10 V</p>	
<p>2. 3,15 V</p>	
<p>3. 3,15 V</p>	





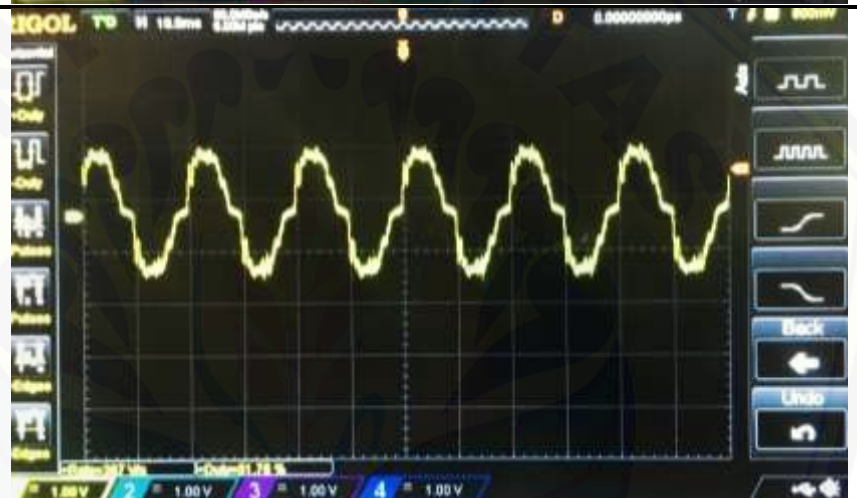
g. Pasir Bangunan (bahan uji kontrol)



2.  
2,90 V



3.  
2,50 V

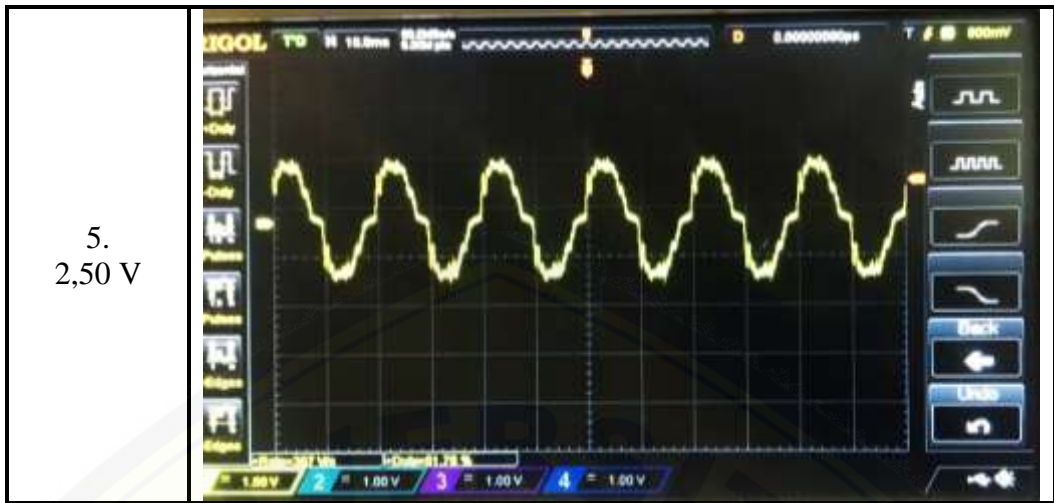


4.  
2,50 V






5.  
2,50 V



3. Hasil Uji Kandungan Besi (Fe) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)  
Laboratorium CDAST Universitas Jember



KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
Center for Development of Advanced Sciences and Technology (CDAST)  
Jl. Kalimantan No. 37, Kampus Tegalboto Jember, 68121. Telp./Fax.: +62-331-321825  
Web: [cdast.unej.ac.id](http://cdast.unej.ac.id); Email: [cdast@unej.ac.id](mailto:cdast@unej.ac.id)

---

Nomor Analisis : 033/LA/CDAST/2018  
Sampel : Pasir Besi  
Parameter Uji : Kandungan Unsur Fe  
Metode Uji : Flame Photometry – AAS  
Bentuk Sampel : Padat  
Jumlah : 7


No.	Sampel	Berat (g)	Volume (L)	Absorbansi	Konsentrasi (ppm)	FP	Fe (mg/g)
1.	P.BBG	0,5006	0,05	0,3094	11,7520	100	117,3791
2.	P.WGL	0,5014	0,05	0,2807	10,6190	100	105,8935
3.	P.PSB	0,5007	0,05	0,1982	7,3533	100	73,4302
4.	M.BBG	0,5002	0,05	0,3298	12,5600	100	125,5498
5.	M.WGL	0,5007	0,05	0,2884	10,9210	100	109,0573
6.	M.PSB	0,5009	0,05	0,2715	10,2520	100	102,3358
7.	KONTROL	0,5006	0,05	0,0674	2,5501	100	25,4661

Perhitungan:  

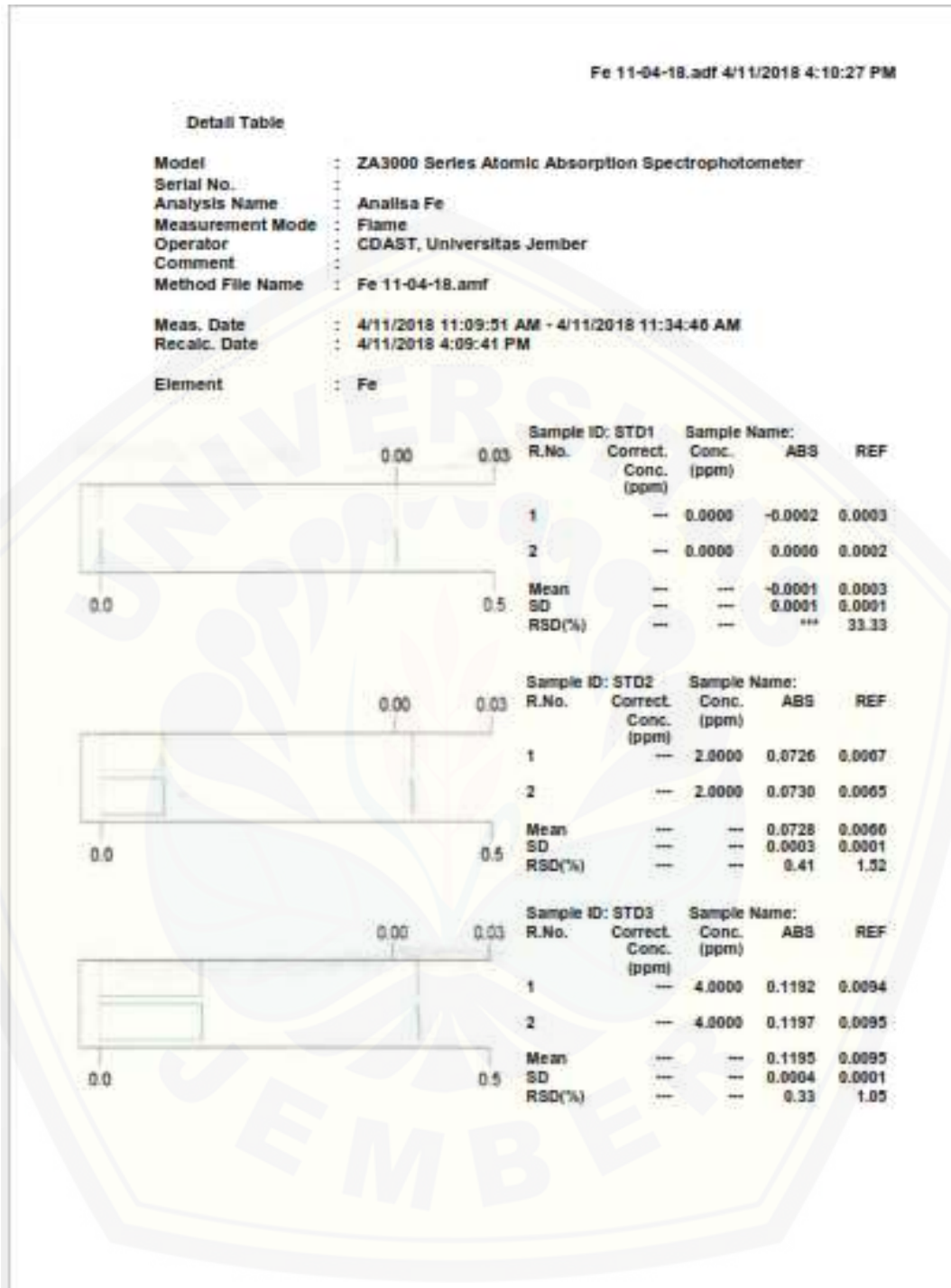
$$Fe \left( \frac{mg}{g} \right) = \frac{C \times FP \times V}{W}$$

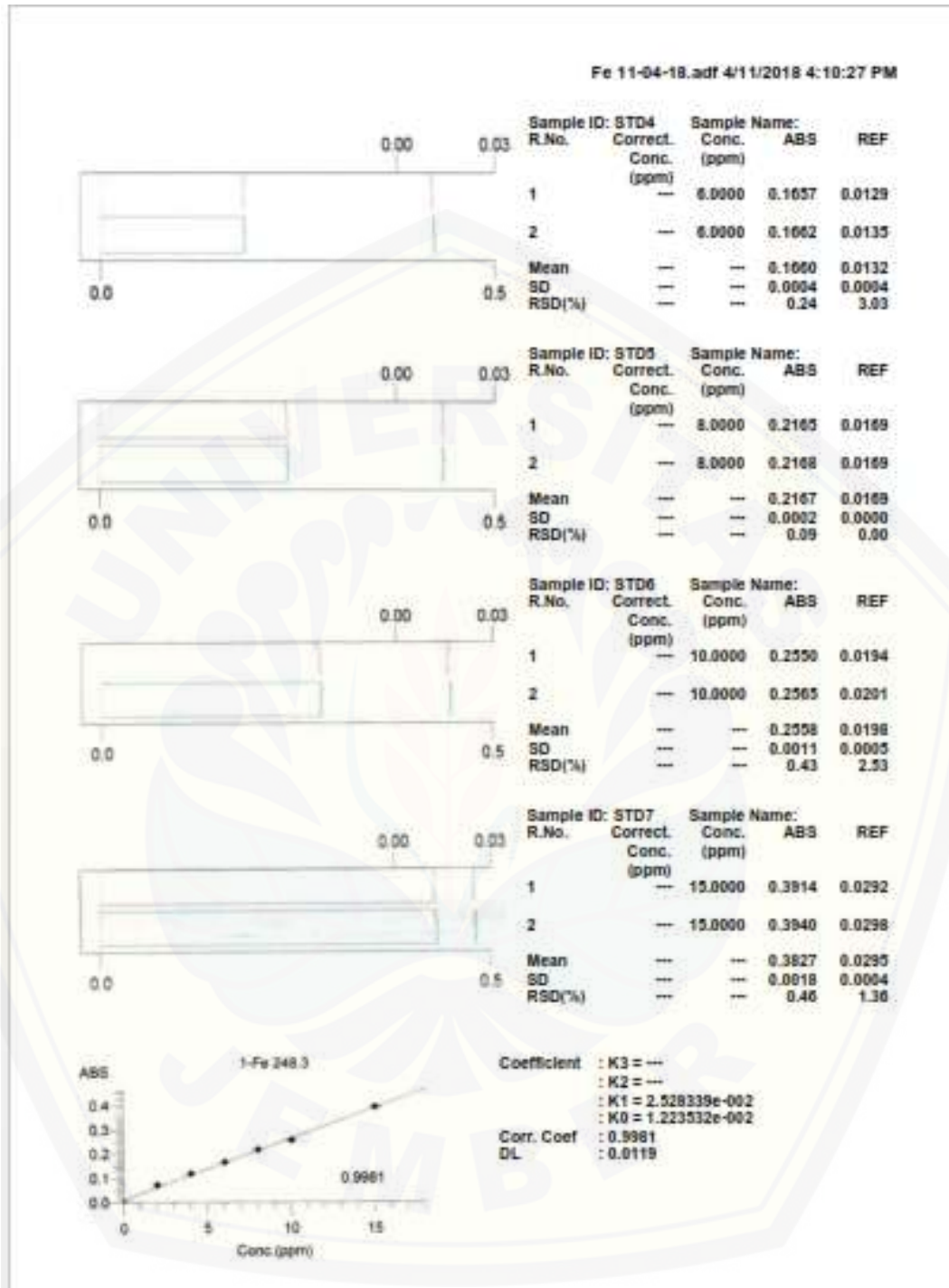
Keterangan:  
 C : Konsentrasi (mg/L atau ppm)  
 FP : Faktor Pengenceran  
 V : Volume Sampel (L)  
 W : Berat Sampel (g)

Jember, 12 April 2018  
Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Layanan

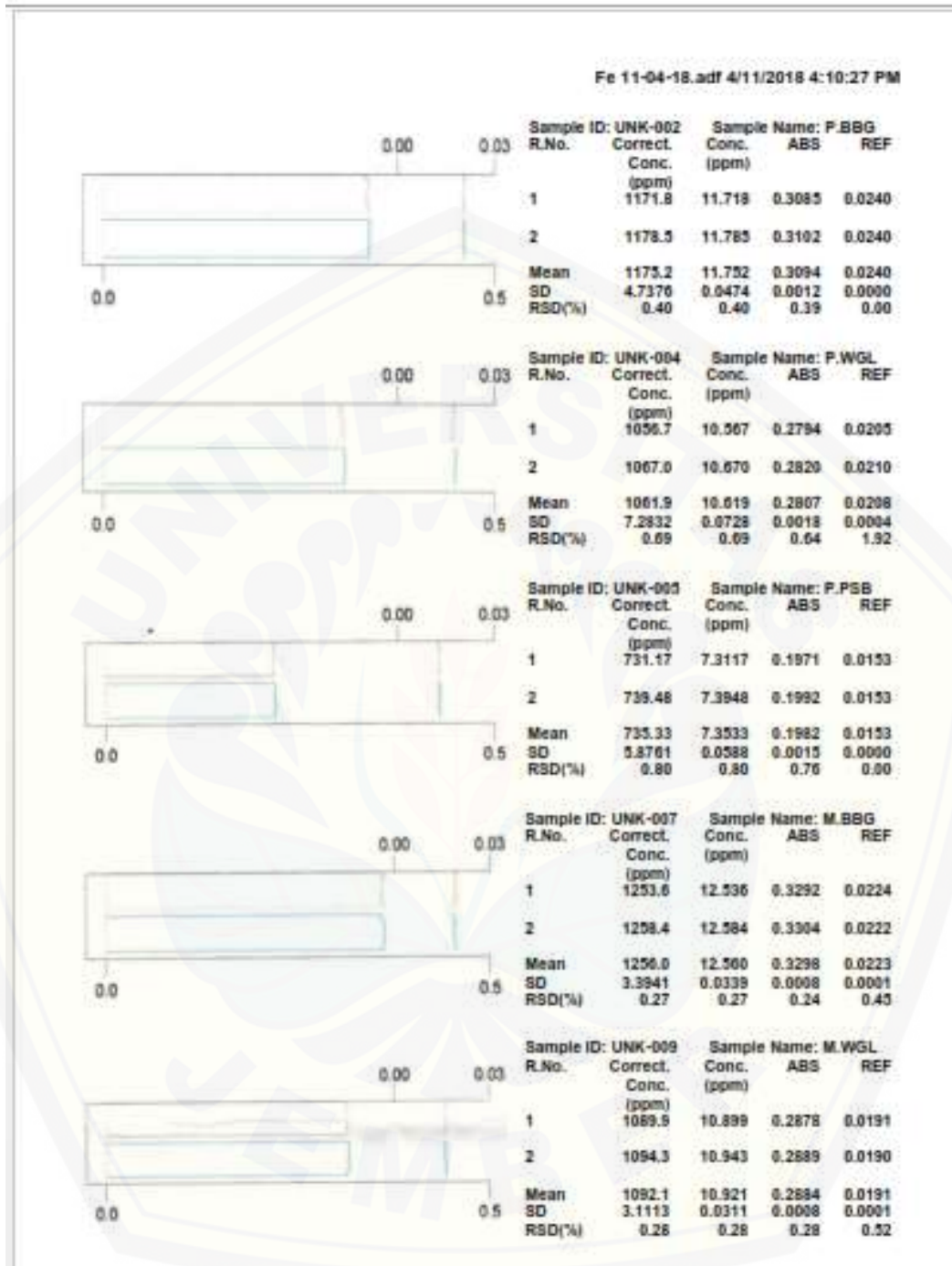


Tri Handoyo, Ph.D  
NIP.197112021998021001

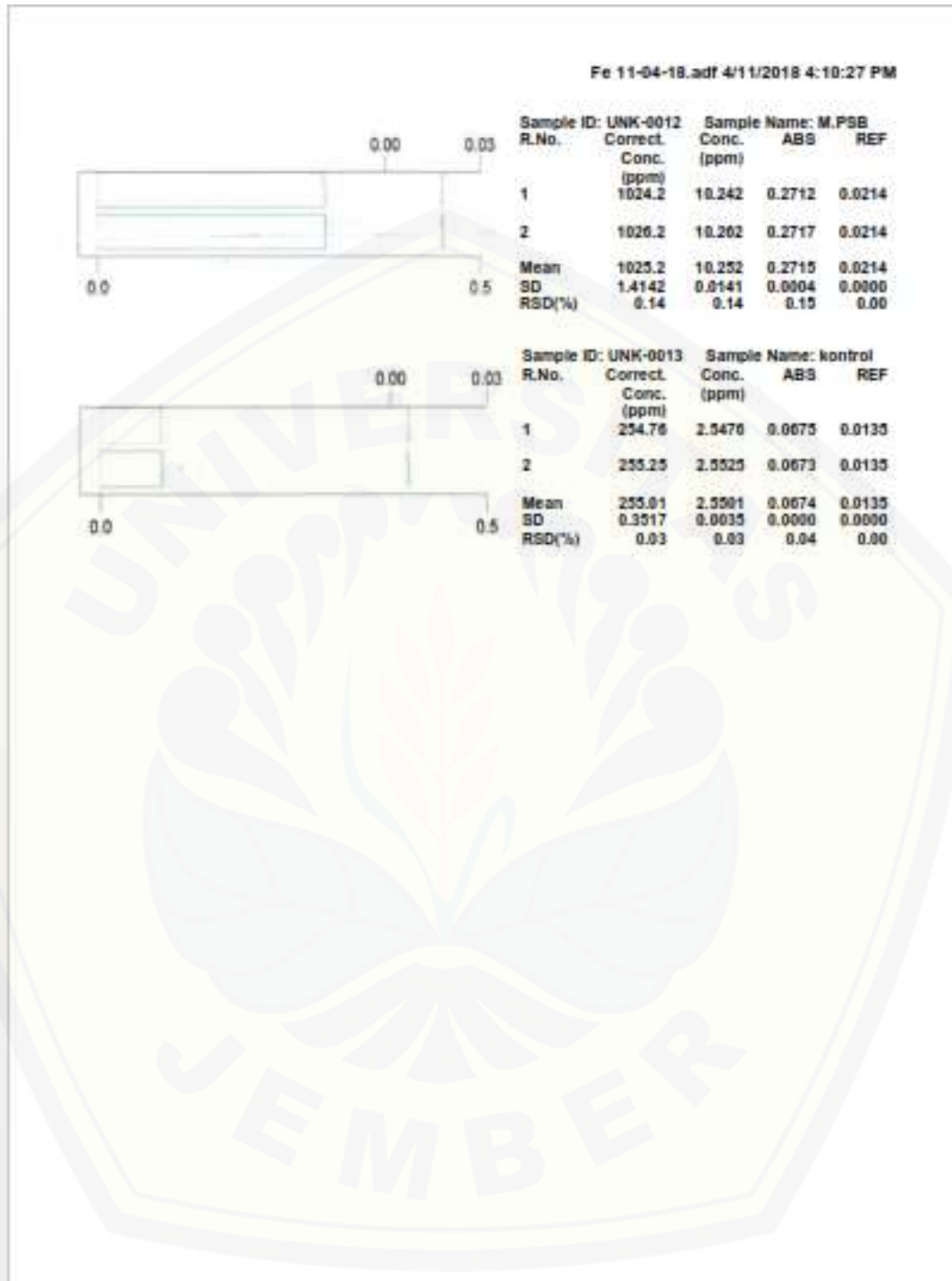












## 4. Hasil Uji Korelasi Ggl Induksi dengan Kandungan Besi (Fe) Bahan Uji

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
ggl_induksi	7	2,50	3,57	3,1471	,35231
kandungan_besi	7	25,4661	125,5498	94,158829	34,3983307
Valid N (listwise)	7				

Correlations

		ggl_induksi	kandungan_besi
ggl_induksi	Pearson Correlation	1	,956**
	Sig. (2-tailed)		,001
	N	7	7
kandungan_besi	Pearson Correlation	,956**	1
	Sig. (2-tailed)	,001	
	N	7	7

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

## Kriteria:

- Tolak  $H_0$  apabila nilai korelasi pearson  $r = 0$  berarti tidak terdapat hubungan antara variabel ggl induksi dengan variabel kandungan besi.
- Terima  $H_0$  apabila nilai korelasi pearson  $r \neq 0$  berarti terdapat hubungan antara variabel ggl induksi dengan variabel kandungan besi.

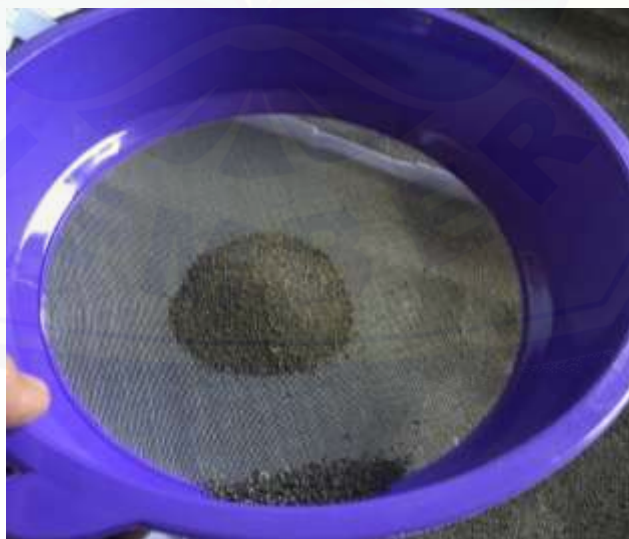
Dari hasil uji korelasi pearson menunjukkan bahwa nilai korelasi pearson  $r \neq 0$  yaitu 0,956, berarti terdapat hubungan antara variabel ggl induksi dengan variabel kandungan besi ( $H_0$  diterima). Nilai  $r > 0,5$  menunjukkan kuatnya korelasi antara variabel ggl induksi dengan variabel kandungan besi (korelasi positif). Sedangkan tanda \*\* menunjukkan bahwa semakin tinggi ggl induksi, semakin tinggi pula kandungan besinya, begitu sebaliknya. Nilai sig. (2-tailed) menunjukkan  $0,001 < 0,5$  yang menyatakan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara variabel ggl induksi dengan variabel kandungan besi, sehingga dapat diketahui bahwa variabel ggl induksi dan variabel kandungan besi berhubungan positif nyata dan signifikan.

**LAMPIRAN C. GAMBAR PENELITIAN**

1. Pengambilan Bahan Uji



2. Pencucian Pengeringan dan Pengayakan Bahan Uji





3. Pengukuran Ggl Induksi Bahan Uji

