

**DISTRIBUSI UNSUR KELUMIT ESSENSIAL (Fe, Cu, Mn, Zn,
Ni) DALAM BIJI KAKAO (*Theobroma cacao* L.) DARI
DAERAH PERKEBUNAN DAN DAERAH TRANSMIGRASI DI
LUWU TIMUR**

DISTRIBUTION OF ESSENTIAL TRACE ELEMENTS (Fe,
Cu, Mn, Zn, Ni) IN COCOA BEANS (*Theobroma cacao* L.)
FROM PLANTATION AREA AND TRANSMIGRATION AREA
IN EAST LUWU

YUNITA PARE ROMBE



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2019

**DISTRIBUSI UNSUR KELUMIT ESSENSIAL (Fe, Cu, Mn, Zn, Ni)
DALAM BIJI KAKAO (*Theobroma cacao* L.) DARI DAERAH
PERKEBUNAN DAN DAERAH TRANSMIGRASI DI LUWU TIMUR**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Magister Kimia

Disusun dan diajukan oleh

YUNITA PARE ROMBE

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2019

TESIS

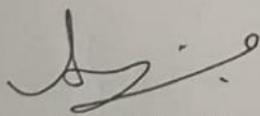
DISTRIBUSI UNSUR KELUMIT ESENSIAL (Fe, Cu, Mn, Zn, Ni) DALAM BIJI
KAKAO (*Theobroma Cacao* L) DARI DAERAH PERKEBUNAN DAN
DAERAH TRANSMIGRASI DI LUWU TIMUR

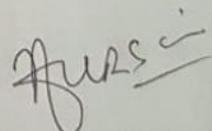
Disusun dan diajukan oleh:

YUNITA PARE ROMBE
Nomor Pokok : H012171014

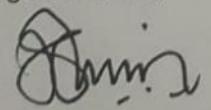
Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 23 Mei 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,
Komisi Penasehat

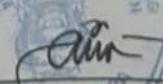

Prof. Dr. Alfian Noor, M.Sc
Ketua


Dr. Nursiah La Nafie, M.Sc
Anggota

Ketua Program Studi
Magister Kimia,


Dr. Hasnah Natsir, M.Si

Dekan Fakultas MIPA
Universitas Hasanuddin,


Dr. Eng. Amiruddin, M.Si

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Yunita Pare Rombe

Nomor Mahasiswa : H012171014

Program Studi : Magister Kimia

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Mei 2019
Yang menyatakan

Yunita Pare Rombe

PRAKATA

Sgala puji dan syukur hanya kepada Tuhan Yesus Kristus oleh karena berkatNya, kasih dan setiaNya selalu nyata akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan hasil penelitian yang berjudul “**Distribusi Unsur Kelumit Essensial (Fe, Cu, Mn, Zn, Ni) dalam Biji Kakao (*Theobroma Cacao* L.) dari Daerah Perkebunan dan Daerah Transmigrasi di Luwu Timur.**”

Dalam penyusunan hasil penelitian ini, penulis menyadari penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan dengan berbagai kekurangan dan keterbatasan yang ada, oleh karena itu untuk kesempurnaannya penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun dari pembaca.

Limpahan rasa hormat panulis persembahkan kepada Ayahanda Markus Deri, Ibunda Bernadeth Samma' dan Saudaraku: Devita Samma', Jendri Samma', Yeni Samma', Edi Samma', Nopri Samma', Agung Samma', Melky Samma', dan Aksel Samma'. Kanda ipar Andre Kurniawan dan keponakan tersayang Fajar Kurniawan. Kedua nenek yang masih sehat-sehat dan beserta seluruh keluarga besar yang telah memberikan dukungan dan senantiasa mendoakan. Ungkapan terimna kasih dan penghargaan yang sebesar-besarya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Jamaluddin, M.Sc, selaku Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin

2. Prof. Dr. Alfian Noor, M.Sc, selaku ketua komisi penasihat yang telah mencurahkan seluruh perhatian, bimbingan dan motivasi selama proses penyusunan tesis,
3. Dr. Nursiah La Nafie, M.Sc, selaku komisi penasehat yang telah mencurahkan seluruh bimbingan dan motivasinya selama proses penyusunan tesis.
4. Prof. Dr. Ahyar Ahmad, Dr. Maning, M.Si dan Dr. Siti Fauziah, M.Si, selaku komisi penilai, terima kasih atas masukan yang telah diberikan demi penyempurnaan penulisan tesis,
5. Dr. Hasna Natsir, M.Si selaku ketua program pascasarjana kimia terimakasih atas motivasi dan bantuannya,
6. Dr. Paulina Taba, M.Phil selaku pembimbing akademik, terima kasih masukan dan bantuannya selama proses kuliah,
7. Dekan Fakultas MIPA, Ketua Jurusan Kimia FMIPA dan seluruh dosen Kimia pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah membagi ilmunya serta seluruh staf Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya,
8. Kepala Laboratorium dan seluruh Staff Laboratorium Kimia Analitik, Kimia Anorganik, Kimia Fisika, Biokimia, Kimia Organik dan IPA Terpadu FMIPA Universitas Hasanuddin. Laboratorium Kimia Analitik, Laboratorium kimia terpadu FMIPA Universitas Hasanuddin, Laboratorium Science Building Universitas Hasanuddin, dan Laboratorium forensik Makassar, terima kasih

atas segala bantuan fasilitas yang telah diberikan selama proses penelitian,

9. Bapak Sahar beserta keluarga dan teman-teman di desa Tarengge, kecamatan Wotu, kabupaten Luwu Timur atas bantuannya dalam penyiapan bahan penelitian (Tanah dan buah kakao),
10. Rekan-rekan kelompok penelitian kakao (Ina Oktaviani Simanjuntak, Daniel dan Febrina Simanjuntak,
11. Teman-teman seperjuangan pascasarjana kimia unhas 2017: Andi Citra J., Rizal Irfandi, Ayu Safitri A., Sri Wahyuni, Mutmainnah, Riswandi, Nut Asmi, Nur Faiizah A., Ita Hasmila, Miftahul Jannah, Yunita Pare R., Muhammad Arham Y., Zulkifli I. Tuara, Abdul Fattah, Fatimah, Ina Oktaviani, Andi Tenri S., Akhmad Rifai ,
terimakasih atas bantuan dan semangatnya.
12. Sahabat perjuangan (Dewi Lidiawati, Fatima, Ina Oktaviani S.) dan buat Moodboster Squad (Muli, yeni, Jei, Semar, Diana) terima kasih atas bantuan, masukan, saran, doa dan semangatnya,
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu semoga Tuhan senantiasa membalas dengan berkat yang berlipat ganda

Penulis menyadari masih banyak kekurangan yang terjadi dalam penyusunan tesis ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan

saran yang membangun bagi penulis guna memperbaiki penelitian dan penulisan pada kesempatan mendatang.

Akhir kata penulis mengharapkan tesis ini dapat bermanfaat bagi berkembangnya ilmu pengetahuan.

Terima kasih.

Makassar, Mei 2019

Penulis

Yunita Pare Rombe

ABSTRAK

YUNITA PARE ROMBE: Distribusi Unsur Kelumit Esensial (Fe, Cu, Mn, Zn, Ni) Dalam Biji Kakao (*Theobroma cacao* L.) Dari Daerah Perkebunan dan Daerah Transmigrasi Di Luwu Timur.

(Dibimbing oleh: Prof. Dr. Alfian Noor, M.Sc dan Dr. Nursiah La Nafie, M.Sc)

Kakao merupakan sumber mineral esensial yang sangat baik. Kakao adalah bahan baku produk yang kaya akan mineral untuk memenuhi kecukupan nutrisi tubuh baik anak-anak maupun orang dewasa. Ketersediaan yang cukup sangat menentukan kualitas nutrisi makanan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis dan kandungan unsur kelumit esensial dalam biji kakao dan potensinya sebagai bahan baku produk pangan yang memenuhi kecukupan nutrisi tubuh. Metode analisis menggunakan Inductively Coupled Plasma. Hasil penelitian menunjukkan jenis unsur kelumit esensial dalam biji kakao dengan 5 titik lokasi adalah besi (Fe), tembaga (Cu), Mangan (Mn), Nikel (Ni), dan seng (Zn) dengan kandungan rata-rata 2,022 mg/100g; 3,009 mg/100g; 1,571 mg/100g; 1,478 mg/100g; dan 5,829 mg/100g untuk daerah perkebunan dan daerah transmigrasi yaitu kandungan rata-rata 2,684 mg/100g; 2,202 mg/100g; 1,801 mg/100g; 2,998 mg/100g; dan 3,830 mg/100g. hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan unsur kelumit esensial dalam biji kakao daerah perkebunan dan transmigrasi dapat digunakan sebagai bahan baku produk pangan yang memenuhi kecukupan nutrisi tubuh.

Kata kunci: unsur kelumit esensial, distribusi, transmigrasi, perkebunan, nutrisi.

ABSTRACT

YUNITA PARE ROMBE: *Distribution of Essential Trace Elements (Fe, Cu, Mn, Zn, Ni) in Cocoa Beans (Theobroma cacao L.) from Plantation Area and Transmigration Area in East Tuwu.*

(Dibimbing oleh: Prof. Dr. Alfian Noor, M.Sc dan Dr. Nursiah La Nafie, M.Sc)

Cocoa is an excellent source of essential minerals. Cocoa is a raw material for products that are rich in minerals to meet the body's nutritional requirements for both children and adults. Availability is sufficient to determine the nutritional quality of food. The purpose of this study was to determine the type and content of essential trace elements in cocoa beans and their potential as raw material for food products that meet the body's nutritional adequacy. The method of analysis uses Inductively Coupled Plasma. The results showed that the types of essential trace elements in cocoa beans with 5 location points were iron (Fe), copper (Cu), Manganese (Mn), Nickel (Ni), and zinc (Zn) with average content 2,022 mg/100g; 3,009 mg/100g; 1.571 mg/100g; 1.478 mg/100g; and 5.829 mg/100g for plantation areas and transmigration areas, the average content 2.684 mg/100g; 2.202 mg/100g; 1.801 mg/100g; 2.998 mg/100g; and 3.830 mg/100g. The analysis shows that the content of essential trace elements in cocoa beans in the plantation and transmigration areas can be used as raw material for food products that meet the body's nutritional adequacy.

Keywords: essential trace elements, distribution, transmigration, plantations, nutrition.

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PRAKATA	v
ABSTRAK	ix
ABSTACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Kakao (<i>Theobroma cacao L.</i>)	7
B. Persyaratan mutu kakao(<i>Theobroma cacao L.</i>)	10
C. Persyaratan tumbuh tanaman kakao(<i>Theobroma cacao L.</i>)	14
D. Unsur kelumit	15

E. Distribusi unsur kelumit dalam tumbuhan	23
F. Sumber unsur kelumit	28
G. Perbedaan unsur kelumit di setiap daerah	29
H. Metode analisis kakao	32
I. Kerangka fikir dan hipotesis	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Waktu dan lokasi penelitian	40
B. Alat dan bahan	40
C. Prosedur penelitian	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Kandungan dan distribusi unsur kelumit esensial pada daerah perkebunan dan daerah transmigrasi	43
B. Kecukupan unsur kelumit esensial dalam biji kakao sebagai bahan baku produk pangan	64
BAB V Kesimpulan dan Saran	
A. Kesimpulan	74
B. Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

nomor	halaman
1. Syarat umum biji kakao	12
2. Persyaratan mutu biji kakao	12
3. Angka kecukupan gizi Indonesia	16

DAFTAR GAMBAR

nomor	halaman
1. Jenis-jenis tanah berdasarkan warna dan kandungan bahan Organik	31
2. Desain instrument ICP-OES	34
3. Diagram alir kerangka teori penelitian	28
4. Histogram kandungan unsur kelumit esensial dalam tanah pada daerah perkebunan dan daerah transmigrasi	44
5. Histogram kandungan unsur kelumit esensial dalam kakao pada daerah perkebunan dan daerah transmigrasi	45
6. Faktor translokasi unsur kelumit esensial	54

DAFTAR LAMPIRAN

nomor	halaman
1. Bagan kerja	84
2. Dokumentasi penelitian	88
3. Data analisis	92
3. Data nilai ph tanah pada daerah perkebunan dan daerah Transmigrasi	94
4. Data analisis ICP	95

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
°C	Derajat celcius
pH	Derajat keasaman
OM	Bahan organik
m	Meter
mdpl	Meter diatas permukaan laut
PBK	Penggerek buah kakao
SNI	Standar Nasional Indonesia
Mg	Miligram
Kg	Kilogram
KTK	Kapasitas Tukar Kation
TF	Transocation Factor
ICP	Inductively Coupled Plasma
Rf	Frekuensi radio
ICP-AES	Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma-Mass Spektroskopy
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectroscopy
AAS	Atomic Absorption Spectroscopy
AKG	Angka Kecukupan Gizi
Hb	Hemoglobin
BB	Berat badan

RAD	Recommended dietary allowance
SOD	Superoksida dismutase
NRV	Nutrient Reference Value
DNA	Deoxyribo Nucleic Acid

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu komoditas perkebunan utama di Indonesia. Komoditas kakao mampu berperan dalam pertumbuhan ekonomi terutama wilayah pedesaan di sentra-sentra produksi. Kakao juga memberi andil nyata bagi perolehan devisa negara. Mengingat perannya yang sangat besar tersebut, kakao telah ditetapkan oleh pemerintah sebagai komoditas prioritas untuk terus menerus dikembangkan (Wahyudi dkk, 2015). Jumlah produksi kakao nasional pada tahun 2015 mencapai 661.243 ton/tahun. Data statistik menyatakan bahwa Daerah penghasil kakao kedua di Indonesia adalah Sulawesi Selatan yang mempunyai sebaran kakao di enam kabupaten. Kabupaten Luwu menempati posisi pertama dengan produksi kakao sebesar 22,62 ribu ton (Pusdatin Kementan, 2016).

Biji kakao merupakan salah satu komoditi hasil perkebunan yang mempunyai peran penting untuk meraih devisa non-migas di Indonesia. Sekitar 60% produksi biji kakao di Indonesia dihasilkan oleh perkebunan rakyat dari beberapa daerah antara lain Aceh, Lampung, Jawa Timur dan Sulawesi Selatan khususnya daerah Luwu Timur. Komoditi biji kakao tersebut selain untuk memenuhi kebutuhan konsumen dalam negeri juga diekspor ke luar negeri, antara lain ke USA, Eropa, Singapore dan Australia (Yusriana dan Jaya, 2016).

Menurut Rucher (2009), kakao merupakan sumber mineral esensial yang sangat baik. Sebagai contoh 50 - 100 gram bubuk cokelat olahan bisa dengan mudah memenuhi kebutuhan manusia sehari-hari. Yusuf (2014), tubuh manusia membutuhkan unsur-unsur atau juga sering disebut mineral mikro esensial yang diperlukan dalam fisiologi untuk membantu proses kerja enzim atau pembentukan organ tubuh.

Menurut Budiasih (2009), unsur kelumit esensial dalam tubuh berfungsi sebagai kofaktor yang membantu kerja enzim atau molekul biologis tertentu. Menurut Assa (2017), mineral mikro esensial (unsur kelumit) dalam biji kakao penting untuk dianalisis karena unsur kelumit esensial tidak hanya berguna untuk meningkatkan kualitas kesehatan tetapi keberadaan mineral tertentu menyebabkan masalah kesehatan jika konsentrasi melebihi ambang toleransi dalam makanan. Menurut Hanafiah (2009), unsur kelumit esensial berperan dalam metabolisme tumbuhan, harus ada agar tumbuhan dapat melengkapi siklus hidupnya, fungsi unsur kelumit tidak dapat digantikan oleh unsur kelumit yang lain. Oleh karena itu, kandungan mineral dari biji kakao perlu diperhatikan mengingat produk kakao sangat diminati oleh kalangan masyarakat.

Kesehatan dan kesejahteraan manusia sepenuhnya tergantung pada tanaman, baik langsung maupun tidak langsung. Tanaman mengandung hampir semua mineral yang diperlukan, sehingga akan menjadi asupan gizi atau nutrisi terhadap manusia (Sakya, 2016).

Konsentrasi unsur kelumit esensial di dalam tumbuhan dipengaruhi oleh unsur kelumit esensial yang tersedia di lingkungan tempat tumbuhan

tersebut hidup, maka perlu diperhatikan apa yang menjadi variabel penting dalam memahami kesuburan tanah dan biji kakao.

Unsur kelumit esensial terdiri atas besi (Fe), seng (Zn) tembaga (Cu), mangan (Mn), molibdenum (Mo) (Hanafiah, 2009). Unsur-unsur kelumit berfungsi membantu menjaga produktivitas lahan, memperbaiki kesuburan tanah yang telah hilang, dan meningkatkan produksi panen (Sauchelli, 1969). Menurut *Cunningham* dalam dewi (2013), unsur kelumit pertama kali ditemukan sebagai salah satu faktor penting dalam produksi panen di Amerika khususnya di Florida selama tahun 1920an. Beberapa hasil penelitian dan praktek yang menggunakan unsur kelumit di lapangan menyebabkan beberapa hasil panen di Florida meningkat tajam.

Unsur kelumit esensial setiap daerah memiliki perbedaan karena dipengaruhi oleh letak geografis, kelembaban, keasaman, dan unsur organik. Berbagai elemen transfer ke rantai makanan manusia secara signifikan dipengaruhi oleh asal geologi tanah dan cekungan air tanah serta ruang hidup dari flora dan reservoir air. Beberapa unsur kelumit termasuk besi, mangan, seng dan tembaga adalah mikronutrien penting dengan berbagai fungsi biokimia di semua organisme hidup. Namun, manfaat mikronutrien ini dapat sepenuhnya terbalik jika ada pada konsentrasi tinggi (Hicsonmez, dkk, 2012).

Tanah di Daerah transmigrasi sering mengalami masalah yang tidak sederhana karena sebagian besar merupakan tanah podzolik. Masalah utama tanah podzolik adalah tingkat kesuburan tanah rendah karena: pHnya rendah, miskin unsur hara, rendahnya kapasitas tukar

kation (KTK), rendahnya kadar bahan organik, dan tingginya konsentrasi aluminium (Al) pada tingkat yang meracuni. Jenis tanah ini selain mempunyai sifat dan ciri seperti tersebut diatas juga mempunyai lapisan atas yang subur tetapi sangat tipis. Biasanya setelah tanah ini dibuka untuk lahan pertanian akan berakibat merosotnya kesuburan, tanah karena adanya erosi yang disebabkan oleh kemiringan tanah dan curah hujan yang tinggi. Oleh karena itu, pemberian bahan organik pada tanah akan dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui: penyediaan unsur hara tanah, meningkatkan KTK, memperbaiki struktur tanah, dan memperbaiki sifat biologi tanah (Kasiran, 2008).

Penelitian tentang kandungan logam berat pada biji kakao telah banyak dilakukan, tetapi masih sedikit pengetahuan tentang jenis dan kandungan unsur kelumit yang ada didalam biji kakao khususnya pada daerah Luwu Timur. Berdasarkan uraian diatas, pada penelitian ini akan dilakukan penentuan kandungan unsur kelumit biji kakao pada lahan kebun asli dan lahan kebun bekas transmigrasi di daerah Luwu Timur.

Salah satu metode penentuan kandungan unsur kelumit pada biji kakao di Indonesia adalah dengan menggunakan metode ICP-OES. Pemilihan metode ini dikarenakan pengukuran cukup selektif dan dapat digunakan untuk menentukan beberapa unsur secara simultan dalam sampel.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat dirumuskan masalah yaitu:

1. apakah terdapat unsur kelumit esensial (Fe, Mn, Cu, Ni, Zn) yang terkandung dalam biji kakao yang berasal dari daerah perkebunan dan daerah transmigrasi di Luwu Timur?
2. berapa kandungan unsur kelumit esensial dalam biji kakao yang berasal dari daerah perkebunan dan daerah transmigrasi di Luwu Timur?
3. apakah kandungan unsur kelumit esensial dalam biji kakao yang berasal dari daerah perkebunan dan daerah transmigrasi di Luwu Timur memenuhi standar untuk menjadi bahan baku produk pangan yang dapat menyumbang kebutuhan nutrisi tubuh?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk :

1. menentukan unsur kelumit esensial (Fe, Mn, Cu, Ni, Zn) yang terkandung dalam biji kakao yang berasal dari daerah perkebunan dan daerah transmigrasi di Luwu Timur,
2. menghitung kandungan unsur kelumit esensial dalam biji kakao yang berasal dari daerah perkebunan dan daerah transmigrasi di Luwu Timur,
3. mempelajari potensi biji kakao pada daerah perkebunan dan daerah transmigrasi di Luwu Timur sebagai bahan baku produk pangan yang dapat menyumbang kebutuhan nutrisi tubuh.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. memberikan informasi ilmiah tentang unsur kelumit esensial dalam biji kakao yang berasal dari daerah perkebunan dan daerah transmigrasi di Luwu Timur,
2. memberikan informasi terhadap kandungan nutrisi dari biji kakao sebagai referensi untuk industri hilir kakao.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kakao (*Theobroma cacao* L.)

Tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu tanaman perkebunan yang sangat potensial untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat. Hal ini ditunjang dengan hasil pengolahan biji tanaman kakao berupa produk cokelat yang sangat disukai semua kalangan masyarakat, termasuk masyarakat Indonesia. Bubuk cokelat biasa digunakan sebagai bahan penyegar atau sebagai bahan campuran makanan. Dengan meningkatnya jumlah penduduk Indonesia, akan berpotensi pada konsumsi olahan biji kakao yang meningkat (Arham dkk., 2016).

Tanaman kakao termasuk marga *Theobroma*, suku dari *sterculiaceae* yang banyak diusahakan oleh para pekebun, perkebunan swasta dan perkebunan Negara. Sistematika tanaman kakao menurut Tjitrosoepomo adalah sebagai berikut: (Susanto, 1994).

Divisi : *Spermatophyta*

Kelas : *Dicotyledoneae*

Bangsa : *Malvales*

Famili : *Sterculiaceae*

Genus : *Theobroma*

Spesies : *Theobroma cacao*, L.

Kakao merupakan tumbuhan tahunan (perennial) berbentuk pohon, di alam dapat mencapai ketinggian 10 m. Meskipun demikian, dalam pembudidayaan tingginya dibuat tidak lebih dari 5 m dengan tajuk menyamping yang meluas. Buah kakao tumbuh dari bunga yang diserbuki. Ukuran buah kakao jauh lebih besar dari bunganya dan berbentuk bulat hingga memanjang. Warna buah akan berubah seiring tingkat kematangan buah. Sewaktu muda buah berwarna hijau hingga ungu, apabila telah masak kulit luar buah biasanya berwarna kuning. Di Indonesia, kakao dikenal dengan dua jenis, yaitu kakao mulia yang berasal dari varietas criollo dengan buah berwarna merah dan kakao lindak berasal dari varietas forastero dan trinitario dengan warna buah hijau (Arham dkk, 2016).

Secara genetis, ada dua jenis kakao yaitu *Criolo* yang terdiri dari *Criolo* Amerika Tengah dan *Criolo* Amerika Selatan. Jenis ini menghasilkan biji kakao yang sangat baik dan dikenal sebagai kakao mulia, *Fine Flavour Cocoa*, *Choiced Cocoa*, *Edel Cocoa*. Jenis kedua yaitu *Forastero* (lindak/bulk) banyak dibudidayakan di berbagai Negara produsen kakao dan menghasilkan biji kakao yang mutunya sedang atau *bulk cocoa* atau dikenal juga sebagai *Ordinary Cocoa*. Hasil persilangan kedua jenis tersebut menghasilkan jenis *Trinitaro* (Siregar dkk, 2003).

Criolo termasuk kakao yang bermutu tinggi atau kakao mulia/*edel cacao* atau *fine flavour cacao*. *Criolo* memiliki ciri-ciri sebagai berikut: (Susanto, 1994)

- a. pertumbuhan tanaman kurang kuat dan produksinya relatif rendah,
- b. masa berbuah lambat,
- c. agak peka terhadap serangan hama dan penyakit,
- d. kulit buah tipis dan mudah diiris,
- e. proses fermentasinya lebih cepat dan rasanya tidak begitu pahit,
- f. warna buah muda umumnya merah dan bila sudah masak menjadi orange.

Forastero umumnya termasuk kakao bermutu rendah atau disebut kakao curah/ kakao curial/ *bulk cacao*. Tipe forastero memiliki ciri-ciri sebagai berikut: (Susanto, 1994).

- a. masa berbuah lebih awal,
- b. pertumbuhan tanaman kuat dan produksinya lebih tinggi,
- c. umumnya diperbanyak dengan semai hibrida,
- d. relatif lebih tahan terhadap serangan hama dan penyakit,
- e. kulit buah agak keras tetapi permukaannya halus,
- f. alur-alur pada kulit buah agak dalam,
- g. proses fermentasinya agak lama,
- h. endospermanya berwarna ungu-tua dan berbentuk gepeng,
- i. ada yang memiliki *bottle neck* dan ada pula yang tidak memiliki.

Biji kakao merupakan sumber yang sangat kaya akan mineral esensial (Cinquanta dkk., 2016). Biji kakao Indonesia menjadi salah satu komoditi perdagangan yang menghasilkan devisa bagi negara. Selain itu,

kakao Indonesia juga mempunyai keunggulan yaitu mempunyai titik leleh tinggi, mengandung lemak coklat dan dapat menghasilkan bubuk kakao dengan mutu yang baik. Mutu produk akhir kakao, seperti aspek fisik, cita rasa, kebersihan serta aspek keseragaman sangat ditentukan oleh perlakuan pada setiap tahapan proses produksinya. Pada proses ini terjadi pembentukan calon citarasa khas kakao dan pengurangan cita rasa yang tidak dikehendaki, misalnya rasa pahit dan sepat. Mutu biji kakao juga menjadi bahan perhatian oleh konsumen, dikarenakan biji kakao digunakan sebagai bahan baku makanan atau minuman (Hatmi dan Rustijarno, 2012).

Biji kakao mengandung komponen kimia seperti karbohidrat, lemak, protein, mineral serta komponen kimia lainnya dalam jumlah lebih banyak. Ukuran berat biji ini sangat dipengaruhi oleh ketinggian tempat tumbuh dan terkait dengan iklim (suhunya). Rendemen biji kering dan jumlah biji/100 g tertinggi diperoleh dari buah kakao yang dipanen pada ketinggian $400 \leq x \leq 800$ mdpl dengan suhu berkisar antara $24,16-26,55$ °C (Yusriana dan Jaya, 2016)

B. Persyaratan Mutu Kakao (*Theobroma cacao* L.)

Mutu dalam bisnis kakao mempunyai beberapa pengertian. Pengertian sempit adalah sesuatu yang berkaitan dengan citarasa (*flavour*), sedangkan mutu dalam pengertian luas meliputi beberapa aspek yang menentukan harga jual dan akseptabilitas dari suatu partai biji kakao oleh pembeli (konsumen) (Arief dan Asnawi, 2011).

Persyaratan mutu yang diatur dalam perdagangan meliputi karakteristik fisik dan pencemaran atau tingkat kebersihan. Selain itu, beberapa konsumen juga menghendaki uji organoleptik yang terkait dengan aroma dan citarasa sebagai persyaratan tambahan. Karakter fisik merupakan persyaratan paling utama karena menyangkut randemen lemak (*yield*) yang akan dinikmati oleh konsumen. Karakter fisik ini mudah diukur dengan tata-cara dan peralatan baku yang disepakati oleh institusi internasional. Dengan demikian pengawasan mutu berdasarkan sifat-sifat fisik ini dapat dengan mudah dikontrol oleh konsumen. Sebaliknya, persyaratan tambahan merupakan kesepakatan khusus antara eksportir dan konsumen. Jika persyaratan tersebut terpenuhi, maka eksportir akan mendapat harga jual biji kakao lebih tinggi (*premium*) (Arief dan Asnawi, 2011).

Faktor lain yang mempengaruhi mutu buah kakao adalah penanganan pascapanen seperti cara panen, fermentasi, pengeringan, dan penyimpanan yang tidak sempurna, serta waktu transportasi yang lama (Depparaba, 2002). Oleh karena itu, dalam pengembangan tanaman kakao seharusnya peningkatan produksi diikuti dengan mutu biji kakao yang lebih baik (Tim Tanaman Perkebunan Besar, 2005). Masalah utama pada kakao lindak/ *bulk cocoa* antara lain produktivitasnya yang rendah, mutu bijinya kurang baik, karena serangan hama penggerek buah kakao (PBK) *Conopomorpha cramerella* dan pengisap buah *Helopeltis* spp (Arief dan Asnawi, 2011).

Biji kakao dinyatakan lulus uji apabila memenuhi persyaratan dalam syarat mutu pada Tabel 1 dan 2 (SNI 2323:2008) (BSN, 2008).

Tabel 1. Syarat umum biji kakao (BSN, 2008)

Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
Serangga Hidup	-	tidak ada
Kadar air	% fraksi massa	maks. 7,5
biji berbau asap dan <i>hammy</i> dan atau berbau asing	-	tidak ada
kadar benda asing	-	tidak ada

Tabel 2. Persyaratan mutu biji kakao (BSN, 2008)

Jenis Mutu	Persyaratan					
	Kakao Lindak (<i>Fine Cocoa</i>)	Kakao Lindak (<i>Bulk Cocoa</i>)	Kadar Biji Berjamur (biji/biji)	Kadar Biji <i>Slaty</i> (biji/biji)	Kadar Biji Berserangga (biji/biji)	Kadar Biji berkecamba (biji/biji)
I – F	I – B	Maks. 2	Maks. 3	Maks. 1	Maks. 1,5	Maks. 2
II – F	II – B	Maks. 4	Maks. 8	Maks. 2	Maks. 2,0	Maks. 3
III – F	III – B	Maks. 4	Maks. 20	Maks. 2	Maks. 3,0	Maks. 3

Pada proses pengeringan harus diperhatikan suhu udara pengeringan. Suhu udara pengeringan selain akan berpengaruh terhadap waktu pengeringan, juga berpengaruh terhadap mutu bahan yang akan dikeringkan. Suhu pengeringan yang biasa digunakan untuk mengeringkan berkisar antara 40 °C, 50 °C dan 60 °C. Pengeringan biji kakao yang terlalu cepat atau suhu pengeringan yang terlalu tinggi akan

menghasilkan aroma asam dan berkadar asam lebih tinggi dari biji yang dijemur (Hayati dkk., 2012).

Adapun faktor yang turut menentukan mutu biji kakao adalah karakteristik fisik (seperti jumlah biji per 100 gram, biji terfermentasi dan kadar biji berjamur/berserangga), kimia (seperti kadar lemak total dan kadar air) dan organoleptik (Wahyudi dkk., 2008). Industri dan para konsumen di negara-negara maju sangat menaruh perhatian terhadap penggunaan bahan baku (biji kakao) bermutu. Oleh karena itu, setiap usaha produksi (budidaya) kakao saat ini harus memperhatikan semua faktor yang mempengaruhi mutu biji yang dihasilkan, termasuk dalam usaha budidaya tanaman kakao hasil sambung samping (Basri, 2010).

Secara teknis operasional, keragaman mutu kakao disebabkan oleh minimnya sarana penerapan teknologi budidaya dan pengolahan, serta lemahnya pengawasan mutu pelaksanaan proses produksi kakao rakyat. Kriteria mutu biji kakao yang meliputi aspek fisik, cita rasa, kebersihan, aspek keseragaman dan konsistensi sangat ditentukan oleh perlakuan pada setiap tahapan proses produksi tersebut. Oleh karena itu pengawasan dan pemantauan pada setiap tahapan proses mestinya dilakukan secara rutin agar tidak terjadi penyimpangan mutu (Munarso dkk., 2016).

Karakteristik kimia dinyatakan melalui pengukuran kadar lemak dan kadar protein biji kakao. Sementara karakter keamanan pangan ditunjukkan oleh adanya residu pestisida. Kedua karakter ini tidak

termasuk dalam persyaratan SNI, namun penting diketahui karena terkait dengan proses pengolahan yang dilakukan dan keamanan produk yang akan dihasilkan (Munarso dkk, 2016).

C. Persyaratan Tumbuh Tanaman Kakao (*Theobroma cacao*, L)

Iklim merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman. Untuk dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik, tanaman kakao menghendaki lahan dengan keadaan tanah dan iklim tertentu. Iklim yang sesuai untuk tanaman kakao adalah iklim dengan curah hujan cukup dan hujan yang terdistribusi merata sepanjang tahun (curah hujan rata-rata antara 1500-2500 mm/tahun), dengan bulan kering kurang dari 3 bulan/tahun, suhu rata-rata antara 15-30 °C (Safuan dkk., 2013).

Curah hujan dan suhu merupakan komponen iklim yang paling besar pengaruhnya terhadap pertumbuhan maupun produksi tanaman kakao. Mengingat sebagian besar proses-proses fisiologi dalam tanaman dipengaruhi oleh status air dalam tanaman dan media tumbuhnya (Wahyudi dkk., 2015).

Daerah produsen kakao umumnya memiliki curah hujan berkisar antara 1250–3000 mm tiap tahun. Curah hujan yang kurang dari 1250 mm akan terjadi evapotranspirasi melebihi presipitasi. Pada umumnya kakao diusahakan tumbuh pada ketinggian kurang dari 300 m dari permukaan laut. Suhu maksimal untuk kakao sekitar 30°-32 °C, sedangkan suhu minimum sekitar 18°-21 °C. Daerah penghasil kakao memiliki kelembaban udara relatif maksimum 100 % pada malam hari dan 70 % pada siang

hari. Tanaman muda yang baru ditanam memerlukan sinar matahari sekitar 25 % - 35 % dari sinar matahari penuh. Sedangkan untuk tanaman dewasa atau yang sudah berproduksi kebutuhan sinar matahari makin besar yaitu 65 % - 75% (Susanto, 1994).

Seperti tanaman pada umumnya, kakao juga menghendaki tanah yang mudah diterobos oleh akar tanaman, dapat menyimpan air, terutama pada musim hujan drainase dan aerasinya baik. Tanaman kakao dapat tumbuh pada tanah yang memiliki kisaran pH 4,0-8,5. Namun pH yang ideal adalah 6,0-7,5 (Susanto, 1994). Hara makro tersebar luas pada pH yang mendekati netral (Wahyudi dkk., 2015).

Pada umumnya, kakao diusahakan pada lahan non-irigasi, sehingga suplai kebutuhan airnya semata-mata hanya bersumber dari hujan. Oleh karena itu jumlah dan sebaran hujan merupakan faktor yang sangat penting bagi pertumbuhan dan produksi kakao. Menurut Wood dalam Wahyudi dkk (2015), menunjukkan bahwa tanaman kakao akan memberikan respon maksimal pada kondisi hujan yang merata sepanjang tahun tanpa ada cekaman kekurangan air dalam seluruh siklus hidupnya (Wahyudi dkk., 2015).

D. Unsur Kelumit

Mineral adalah komponen dari semua jaringan tubuh dan ditemukan dalam jumlah besar pada tulang, gigi, dan kuku. Mineral dan unsur-unsur kelumit sangat penting untuk keperluan proses metabolisme tubuh (Soetan dkk., 2010). Mineral mikro esensial merupakan komponen yang sangat diperlukan oleh makhluk hidup di karena mineral mikro

esensial berperan dalam berbagai proses fisiologis manusia untuk membantu kerja enzim atau pembentukan organ tubuh (Sakya, 2016).

Tabel angka kecukupan unsur kelumit esensial yang dianjurkan bagi tubuh manusia.

Tabel 3. Angka kecukupan unsur kelumit esensial (Republik Indonesia, 2013)

Umur Tahun	Cu mg/hari	Mn mg/hari	Fe mg/hari	Zn mg/hari
Laki- laki				
10-12	0,7	1,9	13	14
13-15	0,8	2,2	19	18
16-18	0,89	2,3	15	17
19-29	0,9	2,3	13	13
30-49 ke atas	0,9	2,3	13	13
Perempuan				
10-12	0,7	1,6	20	13
13-15	0,8	1,6	26	16
16-18	0,89	1,6	26	14
19-29	0,9	1,8	25	10
30-49 ke atas	0,9	1,8	25	10

Kelompok unsur kelumit ini meliputi: Fe, Zn, Mo, Cu, Mn, B. Unsur-unsur ini terkandung dalam tubuh dalam jumlah dari ratusan miligram hingga beberapa gram. Namun, meski demikian unsur kelumit terlibat dalam pengaturan fungsi vital di semua tahap perkembangan organisme hidup (Skalnaya dan Skalny, 2018).

Tubuh manusia memerlukan sejumlah pangan dan nutrisi secara tetap, sesuai dengan standar kecukupan nutrisi, namun kebutuhan tersebut tidak selalu dapat terpenuhi. Diperkirakan 44 macam senyawa dan unsur yang harus diperoleh dari makanan dengan jumlah tertentu setiap harinya dan 22 diantaranya merupakan nutrisi makro dan mikro, seperti Fe, Zn, Cu (Bouis and Welch, 2010).

Faktor nutrisi merupakan salah satu faktor yang menentukan kualitas hidup dan berperan untuk meningkatkan ketahanan fisik dan produktivitas kerja. Tanpa mengabaikan arti penting dari faktor lain, nutrisi merupakan faktor penentu kualitas sumber daya manusia yang pokok, karena unsur nutrisi tidak hanya sekedar mempengaruhi derajat kesehatan dan ketahanan fisik, tetapi juga menentukan kualitas daya pikir atau kecerdasan intelektual yang sangat esensial bagi kehidupan manusia (Sakya, 2016).

Adapun mikronutrien yang dibutuhkan oleh tanaman adalah besi, seng, tembaga, mangan, kobalt, nikel, boron, molibdenum. Unsur kelumit memerlukan transportasi aktif melintasi plasmalemma sel-sel akar tanaman untuk penyerapan. Boron merupakan anion atau molekul netral di sebagian besar tanah, dan molekul netral cukup permeabel di seluruh membran biologis. Enam mikronutrien umumnya diserap sebagai ion divalen melalui saluran ion divalen (Graham dkk, 2003).

Suatu unsur kimia dianggap esensial sebagai unsur hara tanaman jika memenuhi kriteria Arnon, berikut yaitu (Hanafiah, 2009):

- a. harus ada agar tanaman dapat melengkapi siklus hidupnya, sehingga,
- b. jika tanaman mengalami defisiensi hanya dapat diperbaiki dengan unsur tersebut dan,
- c. unsur ini harus terlibat langsung dalam penyediaan nutrisi yang dibutuhkan tanaman.

Berikut akan dibahas masing-masing mineral mikro esensial yang telah sebutkan diatas:

1. Besi (Fe)

Menurut *Bothwell et. al., 1978*, besi (Fe) merupakan mikronutrien yang esensial dalam memproduksi hemoglobin yang berfungsi dalam mengangkut oksigen dari paru-paru ke jaringan tubuh, mengangkut elektron dalam sel, dan dalam mensintesis enzim yang mengandung besi yang dibutuhkan untuk menggunakan oksigen selama memproduksi energi seluler (Sakya, 2016).

Besi merupakan unsur keempat terbanyak di kerak bumi. Jumlah besi dalam tanah mungkin 10.000 kali lebih besar daripada di vegetasi yang tumbuh di dalamnya, namun kekurangan zat besi umum terjadi pada tanaman. Anomali ini disebabkan oleh rendahnya ketersediaan zat besi dengan adanya oksigen terutama nilai pH tanah sedang dan tinggi. Bentuk-bentuk besi di tanah yaitu reduksi Fe (III) menjadi Fe (II) (Graham dkk, 2003).

Besi digunakan tanaman kakao untuk pembentukan klorofil. Kekurangan Fe menyebabkan daun mudah mengalami putih kekuningan dengan ujung daun terbakar. Tulang daun tetap berwarna gelap. Pemupukan Fe dapat menggunakan FeSO_4 (Wahyudi dkk., 2015).

2. Mangan (Mn)

Mangan (Mn) berfungsi dalam pembentukan tulang dan terlibat dalam berbagai enzim metabolisme asam amino, kolesterol dan karbohidrat (Sakya, 2016). Konsentrasi Mn dalam tanaman bergantung pada faktor-faktor tanah seperti pH dimana meningkatkan pH tanah menurunkan serapan tanaman Mn. Kebanyakan Mn yang diabsorpsi diangkut melalui *α -2-macroglobulin* (seperti Mn^{2+}) dan transfer (sebagai Mn^{3+}). Enzim arginase yang mengandung Mn bertanggung jawab untuk pembentukan urea, piruvatcarboxylase mengkatalisis langkah pertama sintesis karbohidrat dari piruvat, dan Mn *superoxidedismutase* mengkatalisis transformasi radikal superoksida menjadi hidrogen peroksida (Tait dan Hurrell, 1996).

Mangan diambil tanaman dalam bentuk ion Mn^{2+} yang juga dapat diserap tanaman melalui penyemprotan daun. Umumnya mangan menyusun 0,005% tanaman, dengan zona kecukupan daun 10-50 ppm, tetapi pada daun dapat mencapai > 200 ppm. Gejala keracunan Mn ditandai adanya noktah cokelat yang dikelilingi oleh zona atau lingkaran klorotik. Unsur Mn berperan penting dalam produksi O_2 pada fotosintesis, pengaturan beberapa sistem oksidasi-reduksi (Hanafiah, 2009).

Fungsi Mn dalam tanaman untuk mendukung proses asimilasi. Kekurangan Mn menyebabkan daun muda kakao mengalami klorosis di antara anak tulang daun. Warna klorosis mulai dari kuning hingga keputihan namun anak tulang daun tetap hijau. Pemupukan dapat dilakukan menggunakan pupuk daun $MnSO_4$ (Wahyudi dkk., 2010).

3. Seng (Zn)

Seng (Zn) merupakan mineral mikro esensial yang dibutuhkan untuk berbagai macam proses biokimia, fungsi imunologi dan klinis pada manusia. Seng mempercepat pembelahan sel dan meningkatkan sistem kekebalan tubuh. Seng sangat penting dalam melindungi tubuh dari penyakit dan melawan infeksi, dan dapat mengurangi durasi dan keparahan diare (Sakya, 2016). Seng berperan penting bagi sistem kekebalan tubuh (Ciquanta dkk., 2016).

Seng berfungsi untuk mengatur proses oksidasi dan reduksi pada pembentukan auxin. Daun yang tumbuh menyempit merupakan gejala tanaman kakao kekurangan Zn. Gejala tampak pada daun tua dengan warna kuning pada tepi daun. $ZnSO_4$ merupakan sumber Zn pada pupuk yang disemprotkan pada daun (Wahyudi dkk., 2015).

Seng memainkan peran penting dalam metabolisme tanaman, yang paling signifikan adalah aktivitasnya sebagai komponen dari berbagai enzim, seperti dehidrogenase, proteinase, peptidase, dan fosfohidrolase. Diindikasikan bahwa fungsi Zn dasar dalam tumbuhan berhubungan dengan metabolisme karbohidrat, protein, dan fosfat dan

juga untuk auksin, RNA, dan formasi ribosom. Ada bukti bahwa Zn mempengaruhi permeabilitas membran dan yang menstabilkan komponen seluler dan sistem mikroorganisme. Seng diyakini dapat menstimulasi ketahanan tanaman terhadap cuaca kering dan panas dan juga terhadap penyakit bakteri dan jamur. Spesies tanaman dan varietas berbeda secara luas dalam kerentanan terhadap defisiensi Zn (Pendias, 2001).

Seng diambil tanaman dalam bentuk ion Zn^{2+} dan rata-rata menyusun 0,002% tanaman. Berperan penting terutama dalam sistem enzim yang mengatur berbagai aktivitas metabolik. Defisiensi seng juga dijumpai pada tanah organik. Pada tanah berkapur, defisiensi terjadi sebagai konsekuensi tingginya pH yang menyebabkan penurunan ketersediaannya, terutama akibat mengalami presipitasi oleh ion-ion hidroksil, sedangkan pada tanah berpasir yang masam, defisiensi merupakan akibat intensifnya pelindihan (Hanafiah, 2009).

4. Nikel (Ni)

Nikel dalam tanah sangat tergantung pada bahan induk tanah. Namun, konsentrasi Ni di permukaan tanah mencerminkan tambahan dari proses pembentukan tanah dan aktivitas antropogenik. Nikel cukup melimpah di berbagai jenis tanah dan terakumulasi yang lebih besar dikumpulkan di *Cambisols* dan *Calcisol*. Tanah di seluruh dunia mengandung Ni dalam kisaran dengan konsentrasinya rata-rata 13–37 mg/kg (Pendias, 2011).

Distribusi Ni dalam profil tanah terkait dengan OM atau reaksi oksida dan tanah liat amorf, tergantung pada jenis tanah. Biasanya

hubungan yang erat antara Ni di tanah dan KTK, dan kandungan tanah liat diamati (Pendias, 2011).

5. Tembaga (Cu)

Tembaga penting untuk proses penyembuhan luka, *hematopoiesis* dan sebagai anti-oksidan. Selain itu, juga sebagai kofaktor *metalloenzymes* dan sintesis norepinefrin (Prasetiyo dan Nasronudin, 2015). Tembaga di ambil tanaman dalam bentuk ion Cu^{2+} yang juga dapat diserap melalui daun, sehingga penyemprotan ke daun dapat dilakukan untuk mengatasi defisiensi unsur Cu. Unsur tembaga umumnya menyusun 0,0006% tanaman. Tembaga berperan penting terutama sebagai katalisator dalam respirasi dan penyusunan beberapa enzim. Bentuk utama unsur yang diserap tanaman adalah bentuk kation Cu^{2+} hasil pelapukan mineral-mineralnya (Hanafiah, 2009).

Tembaga merupakan unsur *immobile* dan mempunyai gejala defisiensi yang bervariasi. Pada pohon berbuah dijumpai gejala kantong getah yang dibawah kulit batang dan rerantingnya mati, sedangkan pada tanaman berbiji kecil dijumpai gejala ekrosis pada ujung dedaunan tua (Hanafiah, 2009).

Tembaga untuk membantu pembentukan klorofil namun saat ini Cu juga merupakan salah satu hara yang mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit. Kekurangan Cu menyebabkan tulang daun muda melengkung kedalam dan daun mengalami klorosis (Wahyudi dkk., 2015).

E. Distribusi Unsur Kelumit Dalam Tumbuhan

Unsur kelumit diserap oleh akar tergantung pada tanah dan faktor tanaman (misalnya sumber dan bentuk unsur-unsur kimia di tanah, pH, bahan organik, spesies tanaman, usia tanaman, dll.). Akibatnya, mobilitas unsur dan ketersediaan tanamansangat penting ketika menilai efek kontaminasi tanah pada serapan logam tanaman dan terkaitefek *phytotoxic* (Mench dkk., 1994).

Menurut *Chaney dkk., 1977* dalam Banuelos (1999), umumnya ion diangkut ke akar tanaman dengan aliran massa dan difusi sepanjang gradien konsentrasi dan teradsorpsi oleh akar pada tingkat yang bergantung pada konsentrasi ion di permukaan akar. Faktor-faktor yang menentukan jumlah unsur kelumit tertentu yang diambil oleh tanaman meliputi konsentrasi dan bentuknya dalam larutan tanah, mobilitasnya ke akar, transportasi dari permukaan akar ke akar, dan translokasi dari akar *keshoot* (Banuelos, 1999).

Penyerapan atau absorpsi hara yaitu pada saat tanaman berkecambah dan mulai membentuk perakaran, semua hara yang dibutuhkan untuk aktivitas ini disuplai oleh biji, kemudian begitu akar mulai penetrasi ke dalam tanah maka sebagian hara tersedia diserap dari tanah sekeliling akar (rhizosfer) yang presentasenya makin meningkat selaras dengan habisnya cadangan hara biji, yang berarti ketergantungan tanaman terhadap hara tanah/udara melalui mekanisme aliran massa, difusi dan intersepsi akar/pertukaran ion juga makin meningkat dan mutlak begitu habisnya cadangan hara tersebut (Hanafiah, 2009).

Mekanisme serapan hara berkaitan dengan kondisi perakaran tanaman kakao. Permukaan akar kakao banyak ditumbuhi bulu-bulu akar. Bulu-bulu akar melakukan kontak dengan koloid tanah untuk menyerap hara di dalam tanah. Dwijoseputro 1980 dalam Wahyudi dkk (2015), melaporkan bahwa serapan unsur hara dapat terjadi karena adanya perbedaan muatan antara kation dan anion yang berada di dalam akar dengan kation dan anion yang berada diluar akar. Setiap komoditas tanaman memiliki kesesuaian lahan yang berbeda, salah satunya dari aspek struktur tanah. Struktur tanah sangat berperan dan berpengaruh terhadap mekanisme serapan hara tanaman.

Mekanisme serapan unsur hara ada tiga sebagai berikut (Wahyudi dkk., 2015):

- a. aliran massa adalah proses pengangkutan bahan terlarut dalam profil tanah seperti pupuk. Proses aliran massa berbeda dengan proses difusi. Proses aliran massa menjelaskan bahwa zat dalam larutan tanah akan bergerak dari daerah yang basa ke daerah yang kering
- b. difusi adalah proses menghasilkan gerak termal bebas dari suatu ion, atom, dan molekul. Suatu komponen yang tidak bermuatan akan bergerak dari larutan yang berkonsentrasi tinggi ke larutan yang berkonsentrasi lebih rendah. Laju perubahan dari konsentrasi larutan tergantung pada perbedaan konsentrasi awal dari dua volume larutan atau jarak dari keduanya. Selain itu, laju difusi juga ditentukan oleh temperatur larutan. Apabila pupuk, pestisida, dan benda terlarut lainnya ditambahkan dalam tanah maka akan

tercipta konsentrasi larutan yang tinggi yang semakin lama akan menurun karena adanya difusi.

- c. intersepsi hara terjadi pada area permukaan akar yang berkontak langsung dengan koloid tanah akibat penetrasi akar yang tumbuh ke area ini. Mekanisme ini terjadi melalui pertukaran kation atau anion antara kedua area permukaan, yang juga dipicu oleh adanya perbedaan kadai ion (*diffuse*). Dalam hal ini ion jenuh/berlebihan pada kedua area bertukaran tempat (Hanafiah, 2009).

Penyerapan hara dari tanah oleh tanaman pada dasarnya terjadi lewat dua prinsip (Hanafiah, 2009):

- a. membutuhkan energi metabolik, sehingga jika respirasi terbatas, jumlah hara yang diserap juga terbatas selaras dengan kadarnya dalam larutan tanah.
- b. proses yang bersifat selektif, karena tanaman mempunyai kemampuan untuk menyortir unsur-unsur yang diserap

Dalam proses penyerapan ini, proses difusi dalam larutan hara sampai ke permukaan membran sel-sel akar terjadi secara bolak-balik dan pasif (tanpa keterlibatan tanaman), kemudian ditranlokasikan hara melintasi membran ini terjadi secara aktif (melibatkan energi respirasi) lewat mekanisme *carrier* yang bersifat selektif (Hanafiah, 2009).

Selektifitas hara oleh tanaman ini terkait dengan diperlukan kendaraan spesifik yang dilepaskan oleh tanaman (berupa enzim) untuk membawa masing-masing kation dan anion atau kelompoknya dari permukaan ke dalam sel-sel akar melalui membran sel.

Pergerakan ion mineral dari tanah ke akar secara pasif (menuruni gradient konsentrasi-difusi) dan aktif (melintasi membran melawan gradient konsentrasi yang membutuhkan energi untuk memompa ion masuk ke dalam sel). Tumbuhan mendapatkan elemen mineral dari dalam tanah didukung oleh adanya aliran transpirasi. Transport aktif melibatkan gradient potensial kimia (gradient konsentrasi di kedua sisi membran) dan gradient potensial listrik (gradient muatan melintasi membran) (Mastuti, 2016).

Kemampuan tukar kation merupakan kemampuan tanah untuk adsorpsi hara dan melepaskan kembali untuk diserap akar. Tanah yang baik untuk kakao menghendaki kemampuan tukar kationnya tinggi, karena umumnya tanahnya subur, demikian juga kejenuhan basa. Semakin tinggi kejenuhan basanya maka tanah tersebut semakin subur dan baik untuk kakao (Wahyudi dkk., 2015).

F. Sumber Unsur Kelumit

Unsur kelumit terjadi secara alami di tanah. Industri manufaktur dan pembuangan limbah telah menghasilkan input dan akumulasi sejumlah besar unsur kelumit di tanah. Ada berbagai sumber input alami dan antropogenik dari unsur kelumit ke dalam tanah. Sumber alam utama termasuk pelapukan (termasuk erosi dan pengendapan partikel-partikel yang ditiup angin), letusan gunung berapi, kebakaran hutan dan sumber biogenik. Sumber antropogenik utama unsur kelumit ke dalam tanah: (Hooda, 2010).

- a. deposisi atmosfer, yang timbul dari pembakaran batubara dan bensin, nonferrous dan penambangan logam besi, peleburan, dan manufaktur, insinerasi limbah, produksi pupuk fosfat dan semen, dan pembakaran kayu,
- b. aplikasi tanah limbah lumpur, kotoran hewan dan limbah organik lainnya dan produk co-dari industri pertanian dan makanan,
- c. pembuangan lahan dari produk dan limbah industri, termasuk lumpur industri kertas, batu bara,
- d. pupuk, kapur dan agrokimia (pestisida) digunakan dalam pertanian.

Unsur kelumit dapat bervariasi dalam makanan dengan beberapa alasan. Faktor-faktor seperti variasi dari sumber tanaman (kakao, kacang, dll.), pemupukan, masa laktasi, asal genetika, faktor musiman atau tahunan, kondisi panen, penyimpanan, pemrosesan (misalnya hidrogenasi tidak jenuh lemak dengan menggunakan Ni) dan pencemaran lingkungan (Guldas, 2008).

Pentingnya unsur kelumit yang terjadi secara alami di tanah, air permukaan, dan air tanah telah menjadi fokus dengan meningkatnya jumlah laporan tentang bioakumulasi unsur kelumit pada hewan dan manusia. Jumlah dan distribusi unsur kelumit di tanah sebagian besar tergantung pada siklus biogeokimia dari ekosistem di mana ia terjadi. Pergerakan unsur kelumit esensial dan non-esensial melalui ekosistem pertanian dan rantai makanan adalah fenomena yang kompleks (Banuelos, 1999)

Unsur kelumit total tanah adalah hasil dari input logam dari beberapa sumber seperti deposisi atmosfer, pupuk, pestisida, limbah organik dan polutan anorganik lainnya. Ketersediaan unsur-unsur ini secara biologis tergantung pada faktor-faktor kimia yang mengendalikan spesiasi logam di tanah, dan faktor tanaman. Di ekosistem tanah dan ekosistem tanaman, ketersediaan tanaman dan mobilitas unsur kelumit dalam tanah sangat mirip. Dalam kedua kasus, pengendapan dan pertukaran ion, proses adsorpsi dan desorpsi, pembentukan kompleks logam berat terlarut, dinamika materi organik, dan kondisi tanah (misalnya, potensi pH dan redoks) peran dalam menentukan dinamika unsur kelumit di tanah (Banuelos, 1999).

Pupuk kapur dan fosfor yang digunakan dalam pertanian dapat berkontribusi pada unsur kelumit ke tanah. Limbah yang dihasilkan oleh penambangan dan aktivitas peleburan mungkin mengandung unsur kelumit tingkat tinggi. Batubara yang terbakar mungkin melepaskan sejumlah besar uap anorganik yang menyebabkan akumulasi unsur kelumit tinggi di tanah. Pembuangan lahan limbah lumpur, batu bara, dan industri lainnya limbah dapat berkontribusi pada akumulasi unsur kelumit dalam tanah. Beberapa faktor yang mengontrol kelarutan dan ketersediaan logam untuk tanaman di tanah yaitu termasuk pH, kandungan bahan organik, kapasitas tukar kation, tekstur, dan mikroorganisme. Kelarutan dipengaruhi oleh pH karena serapan proton kompetitif, reaksi presipitasi-pembubaran. pH tanah memiliki hubungan

langsung dengan ketersediaan unsur kelumit karena mempengaruhi kelarutan dan kapasitas untuk membentuk khelat di tanah. Stabilitas kompleks logam meningkat dari pH 3,5 ke pH 5. Bahan organik tanah memiliki fungsi penting dalam solubilisasi dan siklus melacak elemen di tanah. Oleh karena itu, toksisitas unsur kelumit juga bisabertambah atau berkurang oleh zat organik di dalam tanah dengan kondisi lingkungan tertentu (Banuelos, 1999).

G. Perbedaan Unsur Kelumit Di Setiap Daerah (Wilayah)

Konsentrasi mineral mikro esensial pada tumbuhan dapat sangat bervariasi tergantung pada banyak faktor, termasuk spesies tanaman, genotipe, dan kondisi pertumbuhan, antara organ dan jaringan yang berbedadari spesies tanaman yang sama. Faktor fisiologis dan lingkungan yang dinamis berinteraksi untuk mengubah konsentrasi mikronutrien dalam tanaman di mana kekurangan atau toksisitas akan terjadi (Welch dan Shuman, 2013).

Unsur kelumit esensial setiap daerah memiliki perbedaan karena dipengaruhi oleh letak geografis, kelembapan, keasaman, dan bahan organik. Berbagai elemen transfer ke rantai makanan manusia secara signifikan dipengaruhi oleh asal geologi tanah dan cekungan air tanah serta ruang hidup dari flora dan reservoir air. Beberapa unsur kelumit termasuk besi, mangan, seng dan tembaga adalah mikronutrien penting dengan berbagai fungsi biokimia di semua organisme hidup. Namun,

manfaat mikronutrien ini dapat sepenuhnya terbalik jika ada pada konsentrasi tinggi (Hicsonmez dkk, 2012).

Tanah berpasir memiliki *drainase* yang intensif dan akar tanaman tidak mampu menyerap air atau nutrisi yang cukup, tanah berpasir rendah bahan organik dan ini membuat kekurangan sumber unsur kelumit. Konten lempung memiliki peran penting dalam kesuburan tanah karena permukaan mineral lempung berfungsi sebagai tempat penyimpanan nutrisi (Simic, 2015).

Didaerah transmigrasi mendapat masalah yang tidak sederhana karena sebagian besar merupakan tanah podzolik. Masalah utama tanah podzolik adalah tingkat kesuburan tanah rendah karena: pHnya rendah, miskin unsur hara (rendahnya kapasitas tukar kation (KTK), rendahnya kadar bahan organik, dan tingginya konsentrasi aluminium (Al) pada tingkat yang meracuni. Jenis tanah ini disamping mempunyai sifat dan ciri seperti tersebut di atas juga mempunyai lapisan atas yang subur tetapi sangat tipis. Biasanya setelah tanah ini dibuka untuk lahan pertanian akan berakibat merosotnya kesuburan tanah karena adanya erosi yang disebabkan karena kemiringan tanah dan curah hujan yang tinggi. Untuk itu pemberian bahan organik pada tanah akan dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui: penyediaan unsur hara tanah, meningkatkan KTK, memperbaiki struktur tanah, dan memperbaiki sifat biologi tanah (Kasiran, 2008). Menurut Buckham 1982 dalam Pradnyana (2017), tanah ultisol didominasi oleh oksida besi dan aluminium mendominasi yang memiliki kesuburan yang rendah sehingga diperlukan pengolahan yang

tepat dan baik. Kandungan bahan organik rendah, pH rendah, kejenuhan Al tinggi, fiksasi P tinggi serta kandungan unsur hara yang rendah sehingga menjadi faktor penghambat pertumbuhan tanaman. Kejenuhan Al tinggi dikhawatirkan dapat menyebabkan berkurangnya ketersediaan hara mikro Fe, Mn, Cu, dan Zn akibat reaksi presipitasi menjadi hidroksidanya.

Berdasarkan indikator warna yang merupakan salah satu sifat fisik tanah untuk pendeskripsian jenis atau karakter tanah. Besi oksida berwarna merah, coklat karatan atau kuning tergantung derajat hidrasinya, besi tereduksi berwarna biru-hijau. Makin gelap tanah berarti makin tinggi produktivitasnya dan tinggi kadar bahan organiknya (Hanafiah, 2005). Berikut jenis-jenis tanah berdasarkan kandungan bahan organiknya.



Gambar 1. Jenis-jenis tanah berdasarkan warna dan kandungan bahan organik.

Berdasarkan Gambar 1 tanah pesisir adalah jenis tanah regosol yang memiliki bahan organik rendah (Ma'ruf, 2018.) Tanah perkebunan adalah jenis tanah organosol yang kaya bahan organik (Huang dkk, 2009), sedangkan tanah transmigrasi adalah jenis tanah podzolik yang berwarna

merah, rendah bahan organik, Al tinggi, dan didominasi oleh oksida besi (Kasiran, 2008).

H. Metode Analisis Kakao

1. ICP (*Inductively Coupled Plasma*)

Inductively Coupled Plasma (ICP) adalah sebuah teknik analisis yang digunakan untuk deteksi dari *trace metals* dalam sampel lingkungan pada umumnya. Prinsip utama ICP dalam penentuan elemen adalah pengatomisasian elemen sehingga memancarkan cahaya panjang gelombang tertentu yang kemudian dapat diukur. Teknologi dengan metode ICP yang digunakan pertama kali pada awal tahun 1960 dengan tujuan meningkatkan perkembangan teknik analisis. Sejak itu, ICP telah disempurnakan dan digunakan bersama-sama dengan prosedur preparasi sampel untuk beragam matriks untuk analisis kuantitatif (Boss dan Freedon, 2004).

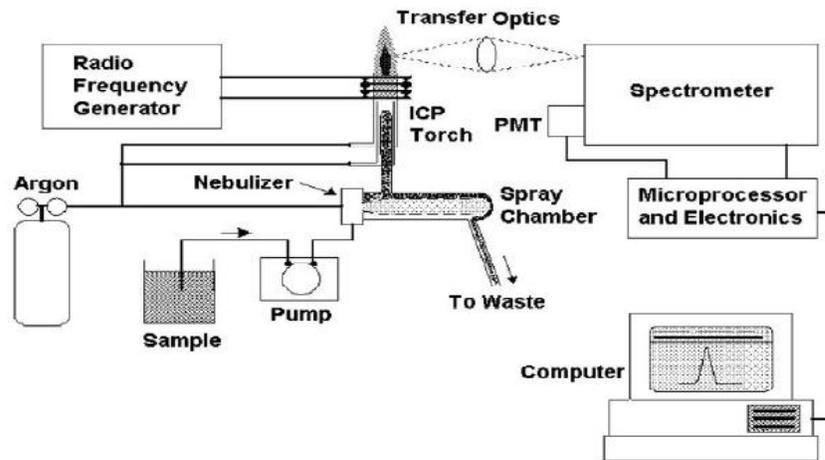
ICP-OES dapat digunakan dalam analisis kuantitatif untuk jenis sampel bahan alam seperti batu, mineral, tanah, endapan udara, air, dan jaringan tanaman dan hewan, mineralogi, pertanian, kehutanan, peternakan, kimia ekologi, ilmu lingkungan dan industri makanan, termasuk pemurnian dan distribusi analisa elemen air yang tidak mudah dikenali oleh AAS seperti sulfur, boraks, fosfor, titanium, dan zirconium (Boumans, 1987).

Spektrometer ICP terdiri dari perangkat pengenalan sampel, sebuah wilayah plasma dan sebuah detektor. Gas yang biasanya

digunakan untuk membuat plasma adalah argon. Sifat ionisasi argon memungkinkannya untuk mengionisasi sebagian besar elemen dalam tabel periodik secara bersamaan, yang memungkinkan analisis multi elemen. Sampel dapat dimasukkan ke plasma sebagai gas, cair atau sebagaipadat. Dalam kasus dengan cairan, sampel dipompa atau disedot ke nebulizer di mana aerosol dihasilkan. Nebulizer menyembrotkan aerosolke dalam ruang semprot yang tugas utamanya adalah untuk menghilangkan tetesan aerosol yangterlalu besar untuk plasma. Gas nebulizer mengangkut aerosol melaluiruang semprot ke plasma. Plasma adalah campuran elektron, argonion dan argon atom dan memiliki suhu gas 5000-9000 K. Itu dibuat dan ditopang oleh aliran gas argon dan medan magnet yang dihasilkan oleh frekuensi radio (r.f.) saat ini dalam koil di dalam plasma senyawa dalam sampel aerosol diuapkan, dikabutkan danterionisasi. Bagian dari atom dan ion yang dibuat juga bersemangat. Dalam ICP-AES, intensitas cahaya pada panjang gelombang tertentu, yang dipancarkan dariplasma oleh de-eksitasi dari komponen sampel diukur. Di ICP-MS, intensitas ion yang diekstrak dari plasma diukur pada spesifikrasio massa-ke-muatan (m/z) (Forsgard, 2007).

Keuntungan dari ICP-OES dengan kemampuan mengidentifikasi dan mengukur semua elemen yang diukur dengan bersamaan, ICP-OES cocok untuk mengukur semua konsentrasi elemen dari *ultratrace* sampai ke tingkat komponen utama, batas deteksi pada umumnya rendah untuk sebagian besar elemen khas dengan rentang dari 1–100 mg/L.

Pembacaan ICP-OES terhadap berbagai elemen yang dianalisis dapat dilakukan dalam jangka waktu yang singkat yaitu 30 detik dan hanya menggunakan ± 5 mL sampel. Walaupun secara teori, semua unsur kecuali argon dapat ditentukan menggunakan ICP-OES, namun beberapa unsur tidak stabil memerlukan fasilitas khusus untuk menanganinya. Selain itu, ICP-OES memiliki kesulitan menangani analisis senyawa-senyawa halogen ((Boss dan Freedon, 2004).



Gambar 2. Desain instrument ICP-OES (Boss dan Freedon, 2004).

2. Teknik destuksi

Destruksi merupakan suatu perlakuan pemecahan senyawa menjadi unsur unsurnya sehingga dapat dianalisis. Istilah destruksi ini disebut juga perombakan, yaitu dari bentuk organik logam menjadi bentuk logam-logam anorganik. Pada dasarnya ada dua jenis destruksi yang dikenal dalam ilmu kimia yaitu destruksi basah (oksida basah) dan destruksi kering (oksida kering). Kedua destruksi ini memiliki teknik

pengerjaan dan lama pemanasan atau pendestruksian yang berbeda (Jovita, 2018).

a. Teknik destruksi basah.

Destruksi basah adalah perombakan sampel dengan asam-asam kuat baik tunggal maupun campuran, kemudian dioksidasi dengan menggunakan zat oksidator. Pelarut-pelarut yang dapat digunakan untuk destruksi basah antara lain asam nitrat, asam sulfat, asam perklorat, dan asam klorida. Kesemua pelarut tersebut dapat digunakan baik tunggal maupun campuran. Kesempurnaan destruksi ditandai dengan diperolehnya larutan jernih pada larutan destruksi, yang menunjukkan bahwa semua konstituen yang ada telah larut sempurna atau perombakan senyawa-senyawa organik telah berjalan dengan baik. Senyawa senyawa garam yang terbentuk setelah destruksi merupakan senyawa garam yang stabil dan disimpan selama beberapa hari. Pada umumnya pelaksanaan kerja destruksi basah dilakukan secara metode Kjeldhal. Dalam usaha pengembangan metode telah dilakukan modifikasi dari peralatan yang digunakan (Jovita, 2018).

b. Teknik destruksi kering.

Destruksi kering merupakan perombakan organik logam di dalam sampel menjadi logam-logam anorganik dengan jalan pengabuan sampel dalam *muffle furnace* dan memerlukan suhu pemanasan tertentu. Pada umumnya dalam destruksi kering ini dibutuhkan suhu pemanasan antara 400-800 °C, tetapi suhu ini sangat tergantung pada jenis sampel yang

akan dianalisis. Untuk menentukan suhu pengabuan dengan system ini terlebih dahulu ditinjau jenis logam yang akan dianalisis. Bila oksida-oksida logam yang terbentuk bersifat kurang stabil, maka perlakuan ini tidak memberikan hasil yang baik. Untuk logam Fe, Cu, dan Zn oksidanya yang terbentuk adalah Fe_2O_3 , FeO , CuO , dan ZnO . Semua oksida logam ini cukup stabil pada suhu pengabuan yang digunakan. Oksida-oksida ini kemudian dilarutkan ke dalam pelarut asam encer baik tunggal maupun campuran, setelah itu dianalisis menurut metode yang digunakan. Contoh yang telah didestruksi, baik destruksi basah maupun kering dianalisis kandungan logamnya. Metode yang digunakan untuk penentuan logam-logam tersebut yaitu metode spektrofotometer serapan atom. Metode ini digunakan secara luas untuk penentuan kadar unsur logam dalam jumlah kecil atau *trace level* (Kealey dan Haines, 2002).

Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam hal menggunakan teknik destruksi terhadap sampel, apakah dengan destruksi basah ataukah kering, antara lain:

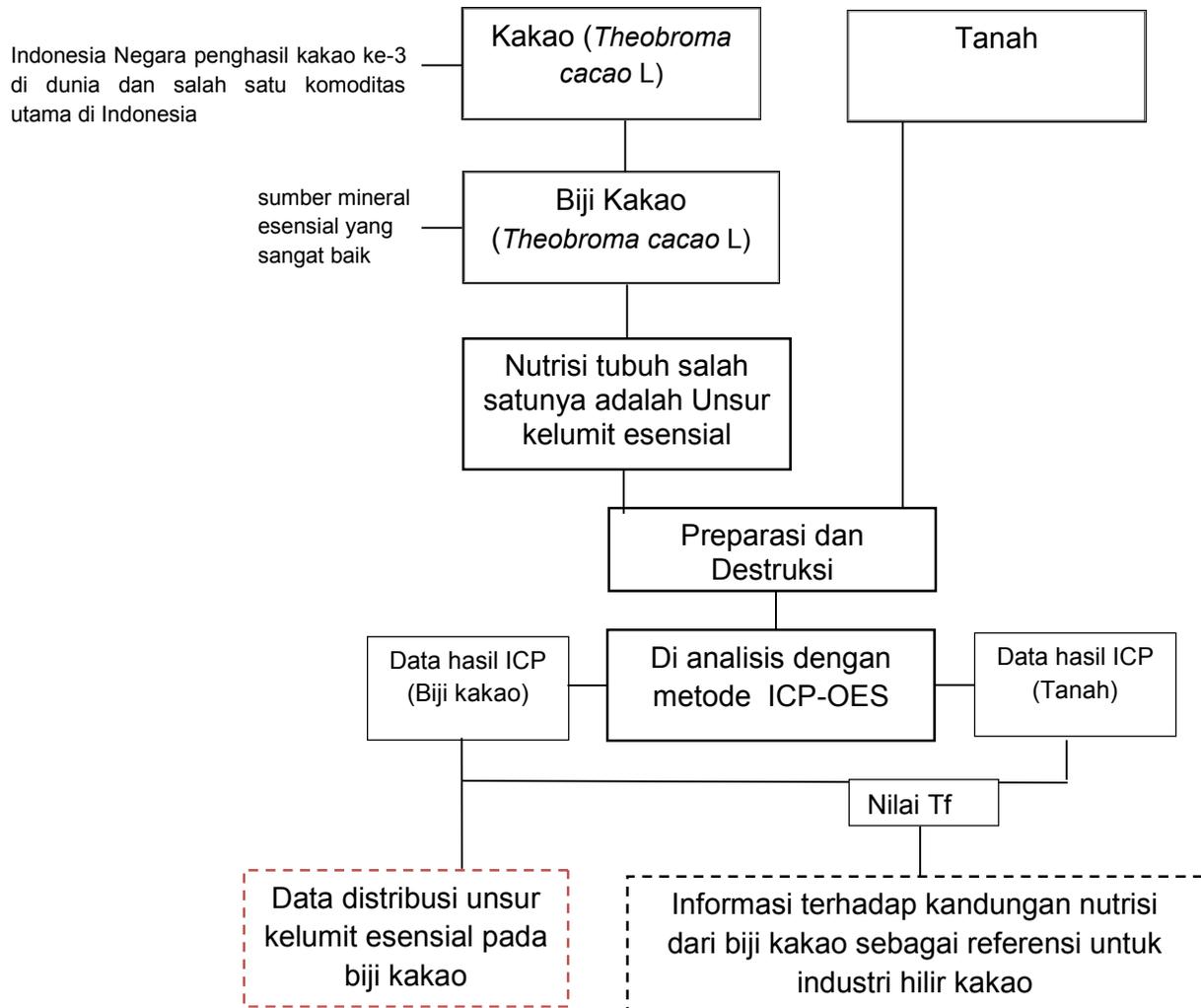
- a. Sifat matriks dan konstituen yang terkandung di dalamnya.
- b. Jenis logam yang akan dianalisis.
- c. Metode yang akan digunakan untuk penentuan kadarnya.

I. Kerangka Fikir Dan Hipotesis

1. Kerangka pikir

Negara Indonesia merupakan negara penghasil kakao ketiga di dunia. Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu komoditas perkebunan utama di Indonesia. Kakao terdapat biji kakao merupakan salah satu komoditi hasil perkebunan yang mempunyai peran penting. Komoditi biji kakao tersebut selain untuk memenuhi kebutuhan konsumen dalam negeri juga diekspor ke luar negeri, antara lain ke USA, Eropa, Singapore dan Australia. Kakao merupakan sumber mineral esensial yang sangat baik. Kandungan dari biji kakao perlu diperhatikan mutunya dan nutrisi mengingat produk kakao ini sangat diminati. Tubuh manusia membutuhkan unsur-unsur atau juga sering disebut mineral, yang diperlukan dalam proses fisiologis untuk membantu kerja enzim atau pembentukan organ disebut mineral mikro esensial. Mineral mikro esensial juga sangat dibutuhkan oleh tanaman untuk memaksimalkan produksi hasil pertanian, maka perlu diperhatikan apa yang menjadi variabel penting dalam memahami kesuburan tanah, dan biji kakao. Perlu dilakukan penelitian tentang mineral mikro esensial untuk meningkatkan nilai produk kakao Indonesia. Pengeringan dan destruksi sampel sebelum di analisis kandungan unsur kelumit esensial dengan ICP. Adapun alasan pemilihan metode ini dikarenakan selektif dan dapat digunakan untuk mengukur beberapa unsur sekaligus didalam sampel pada saat pengukuran. Oleh karena itu, didapatkan data hasil kakao dan data hasil

tanah untuk mengetahui distribusi unsur kelumit esensial dalam biji kakao dan informasi terhadap kandungan nutrisi dari biji kakao sebagai referensi untuk industri hilir kakao.



Tabel Gambar 3. Diagram alir kerangka teori penelitian

2. Hipotesis

Berdasarkan pemaparan kerangka pemikiran diatas maka hipotesis dalam penelitian ini adalah kandungan unsur kelumit esensial yang terkandung dalam biji kakao yang berasal dari daerah perkebunan lebih tinggi dibandingkan pada daerah transmigrasi di Luwu Timur dan memenuhi standar mutu sebagai bahan baku untuk menjadi produk pangan yang dapat menyumbang kebutuhan nutrisi manusia.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu Dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2018-Maret 2019 di Laboratorium Kimia Analitik, Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin dan Laboratorium Forensik Makassar. Pengambilan sampel penelitian dilakukan pada bulan Desember 2018 pada Perkebunan Kakao di Dusun Batu Harapan dan Dusun Harapan Makmur, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan.

B. Alat Dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat gelas kimia yang umum dipakai pada laboratorium kimia analitik, *polyethilen container*, mortar/gilingan, ICP-OES Perkin Elmer Optima 8300, oven, neraca analitik, batang pengaduk, saringan 100 mesh, 20 mesh, cawan silika, botol semprot, dan tanur, alat sampling tanah.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah HNO₃ p.a. (65%, Merck), HCl p.a. (37 %,Merck), *tissue roll*, buah kakao (*Theobroma cacao* L), aquabides, kantong sampel, sampel tanah, HNO₃ 5 M, HCl 2M kertas saring Whatman No. 42

C. Prosedur Penelitian

1. Metode Sampling Tanah

Sampel tanah dikumpulkan pada lima titik lokasi di masing-masing kebun secara random menggunakan model spesial domain *transect line* (Okalebo dkk., 2002). Sampel tersebut diambil pada kedalaman 10 cm sejumlah 500 g disimpan dalam tempat polietilen. Selanjutnya sampel dikeringkan dengan oven pada suhu 70 °C selama 24 jam, digiling dengan mortar porselen dan diayak dengan saringan 100 mesh (Avci dkk., 2013).

2. Metode Sampling Buah Kakao

Sampel buah dikumpulkan dari bagian tengah pohon yang terletak di dekat lokasi pengambilan contoh tanah. Buah diambil sampelnya sesuai dengan ketersediaannya di setiap pohon. Biji kakao dipisahkan dari polong, dan dikeringkan dengan udara. Biji kakao kering dibagi menjadi kacang dan cangkang (lapisan kacang). Selanjutnya sampel dikeringkan dengan oven pada suhu 60 °C selama 24 jam, digiling dan diayak dengan saringan 20 mesh (Arevalo, et. al., 2017).

3. Analisis Menggunakan ICP OES

a. Sampel biji kakao.

Sebanyak 10 g sampel ditimbang dalam cawan silica, kemudian sampel dipanaskan di atas api langsung dengan hati-hati sampai mengarang (suhu pemanasan tidak boleh terlalu tinggi sehingga terjadi pemijaran). Selanjutnya cawan dipindahkan kedalam tanur untuk

pengabuan pada suhu 500 °C selama 2 jam. Cawan dikeluarkan dan didinginkan, kemudian ke dalam cawan ditambahkan 1 mL sampai dengan 2 mL air bebas mineral dan 3 mL asam nitrat dipanaskan diatas pengangas air dan setelah kering, panaskan di atas nyala api dengan hati-hati pada suhu rendah sehingga semua nitrat hilang. Cawan dimasukkan kembali ke dalam tanur dengan suhu 525 °C selama 1 jam. Selanjutnya cawan didinginkan dan larutkan abu yang diperoleh dengan 10 mL asam klorida sambil dipanaskan kemudian dipindahkan ke dalam labu takar 100 mL dengan air bebas mineral dan tetapkan volumenya. Kandungan unsur kelumit pada masing-masing sampel ditentukan menggunakan Inductively Coupled Plasma (BSN, 2008).

b. Sampel tanah.

Sebanyak 4 gram sampel dalam cawan porselen dimasukkan dalam tanur pada 200 - 250 °C selama 30 menit, dan ditanur kembali selama 4 jam pada suhu 480 °C. Cawan dikeluarkan dan didinginkan. Kemudian ke dalam cawan ditambahkan 8 mL HNO₃ 5 M dan uapkan sampai kering pada penangas. Cawan didinginkan dan dipanaskan hingga 400 °C selama 15 menit, selanjutnya didinginkan dan dibasahi dengan 16 tetes air suling). Sebanyak 8 mL HCl pekat ditambahkan dan sampel diuapkan sampai kering, kemudian 20 mL HCl 2 M ditambahkan dan diaduk lagi. Larutan disaring dengan kertas saring Whatman No. 42, kemudian dipindahkan ke labu ukur 100 mL dengan menambahkan air suling (Hseu dkk., 2004)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

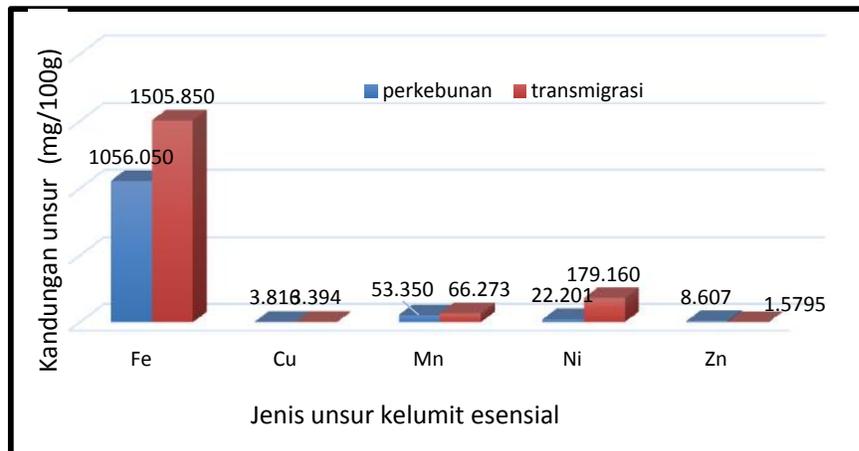
A. Kandungan dan Distribusi Unsur Kelumit Esensial pada Daerah Perkebunan dan Daerah Transmigrasi

1. Kandungan unsur kelumit esensial pada daerah perkebunan dan daerah transmigrasi

Pada penelitian ini telah dilakukan analisis kandungan unsur kelumit esensial pada tanah dan biji kakao dari sentra perkebunan Luwu Timur yang ditanam pada daerah perkebunan dan daerah transmigrasi. Lokasi pengambilan sampel di dusun Harapan Makmur untuk daerah perkebunan dan dusun Batu Harapan untuk daerah Transmigrasi. Unsur kelumit esensial yang terkandung dalam biji kakao dari daerah perkebunan dan daerah transmigrasi yang di analisis menggunakan ICP yaitu Fe, Cu, Mn, Ni, dan Zn.

Tanah merupakan sumber daya alam yang mempunyai peranan penting dalam berbagai segi kehidupan manusia, hewan, dan tanaman. Karakteristik unsur-unsur kelumit esensial dalam tanah sangat berpengaruh terhadap karakteristik unsur-unsur dalam tanaman yang tumbuh di atasnya. Dengan demikian kandungan unsur-unsur kelumit esensial yang kurang atau berlebihan dalam jaringan tanaman akan

menggambarkan kandungan unsur-unsur dalam tanah (Arham dkk, 2016). Komposisi unsur-unsur dalam sampel tanah perkebunan kakao yaitu besi (Fe), Nikel (Ni), tembaga (Cu), Zink (Zn) dan mangan (Mn) yang merupakan unsur-unsur mikro untuk tanaman. Hasil analisis unsur kelumit esensial dalam tanah dari daerah perkebunan dan daerah transmigrasi di Luwu Timur ditunjukkan pada Gambar 4.



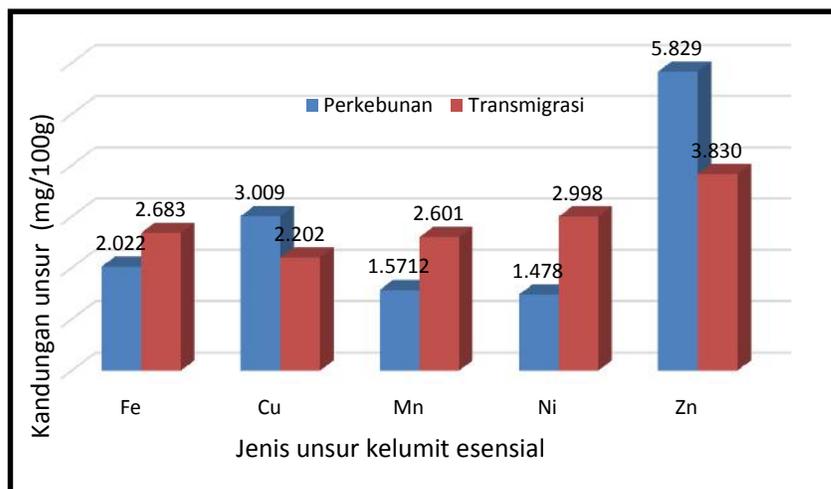
Gambar 4. Histogram kandungan unsur kelumit esensial dalam tanah pada daerah perkebunan dan daerah transmigrasi

Unsur kelumit dalam tanah di pengaruhi oleh bahan induk tanah dan proses pelapukan, sumber antropogenik, deposisi atmosfer. Pelapukan adalah proses yang menyertai proses pelapukan fisik dan menyebabkan terjadinya perubahan dalam komposisi kimiawi maupun komposisi mineral penyusun fragmen-fragmen bebatuan. Perubahan komposisi kimiawinya yang kemudian menyebabkan terbentuknya mineral-mineral sekunder. Mekanisme yang terlibat meliputi pelarutan, hidratisasi, hidrolisis, oksidasi, reduksi, karbonatasi dan asidifikasi. Sumber

antropogenik merupakan hasil dari aktivitas manusia seperti pembuangan limbah, industri dan pestisida (Hanafiah, 2005 dan Hooda, 2010).

Kandungan unsur kelumit esensial pada tanah daerah perkebunan teramati lebih tinggi dibandingkan pada tanah daerah pesisir. Rendahnya ketersediaan unsur kelumit esensial pada daerah pesisir dapat disebabkan karena pada tanah pesisir tersusun atas kadar mineral sukar lapuk relatif lebih tinggi dibandingkan mineral yang mudah lapuk (Khusrizal, 2012). Unsur kelumit pada tanah daerah transmigrasi karena berasal dari sumber antropogenik. Sumber antropogenik adalah hasil dari aktivitas manusia seperti pembuangan limbah dan penggunaan pestisida. Dengan demikian akan menyebabkan akumulasi unsur kelumit pada tanah daerah transmigrasi dimana daerah transmigrasi dekat dengan pemukiman masyarakat dan aktivitas manusia.

Kandungan unsur kelumit esensial dalam biji kakao dipengaruhi oleh banyaknya jumlah kandungan unsur kelumit dalam tanah. Berdasarkan Sillanpaa (1982), kandungan unsur kelumit dalam tumbuhan tergantung pada kandungan unsur kelumit dalam tanah dan faktor yang mempengaruhi ketersediaanya. Hasil analisis unsur kelumit esensial dalam biji kakao dari daerah perkebunan dan daerah transmigrasi di Luwu Timur ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Histogram kandungan unsur kelumit esensial dalam kakao pada daerah perkebunan dan daerah transmigrasi

a. Besi

Besi dalam biji kakao di lokasi daerah transmigrasi yang dipantau adalah rata-rata 2,684 mg/100 g dan daerah perkebunan yaitu sebesar 2,022 mg/100 g. Konsentrasi ini lebih rendah dari daerah pesisir yaitu 3,990 mg/100g. Kandungan besi dari ketiga daerah tersebut tidak terlalu berbeda jauh dengan kandungan besi kakao yang ada di titik lokasi 5 dan 6 di Negara Pantai Gading dengan nilai masing-masing 2, 76 dan 2, 53 mg/100 g kakao (Laine dkk., 2015). Besarnya kandungan besi dalam kakao dipengaruhi oleh kandungan besi yang ada di dalam tanah.

Data pada Gambar 3 menunjukkan, konsentrasi Fe dalam tanah cukup besar. Besi dalam tanah daerah transmigrasi yaitu rata-rata 1505,850 mg/100 g dan daerah perkebunan yaitu rata-rata sebesar 1056,050 mg/100 g. Selain itu, kandungan besi dalam tanah daerah transmigrasi lebih besar dibandingkan dengan daerah perkebunan karena daerah transmigrasi dekat dengan aktivitas masyarakat dan pemukiman

masyarakat yang memicu tingginya konsentrasi mineral besi dalam tanah. Hanafiah (2009), menyatakan bahwa ketersediaan maksimum besi pada pH 6 ke bawah, sehingga dapat dilihat pada Gambar 4 tingginya konsentrasi besi pada daerah transmigrasi karena daerah transmigrasi mempunyai pH 5,8 sedangkan daerah perkebunan pH 6,4.

Menurut Colombo (2013), rata-rata kandungan unsur kelumit besi dalam tanah berkisar 20-40 g/kg. Besi sangat melimpah di alam dalam bentuk mineralnya. Namun, ketersediaan besi bagi tumbuhan sangat rendah. Ketersediaan besi berkaitan dengan kelarutan besi dalam larutan tanah atau air di alam. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan besi bagi tumbuhan meliputi pengaruh pH air dan tanah, peran bakteri, material organik tanah dan kapasitas tukar kation (Pendias dan Pendias, 2011).

Hasil analisis menunjukkan konsentrasi tanah ultisol mempunyai kandungan Fe terlarut tinggi sehingga menyebabkan pH tanah menjadi rendah (Soepardi 1994 dalam Naibaho 2017). Menurut Buckham dalam Pradyana (2017), tanah podsolik didominasi oleh oksida besi sehingga pada Gambar 3 dapat dilihat konsentrasi unsur Fe sangat tinggi dibandingkan dengan unsur hara yang lain dan dari tekstur tanah daerah perkebunan (berwarna hitam) sangat berbeda dengan tekstur tanah transmigrasi yang berwarna merah (Hanafiah, 2005).

Besi merupakan unsur esensial yang kehadirannya mutlak harus dipenuhi dalam metabolisme tumbuhan. Unsur kelumit esensial ini dibutuhkan dalam proses respirasi, fotosintesis, sintesis DNA, sebagai penyusun sitokrom, serta pengaktifan enzim (Rout dan Sahoo, 2015).

b. Tembaga (Cu)

Hasil penelitian menunjukkan tembaga dalam biji kakao di lokasi daerah transmigrasi yang dipantau adalah rata-rata 2,202 mg/100 g dan daerah perkebunan yaitu sebesar 3,009 mg/100 g. Kandungan tembaga daerah pesisir sebesar 2,316 mg/100 g. Kandungan tembaga dari ketiga lokasi tersebut tidak ada perbedaan yang signifikan kandungan tembaga dalam biji kakao antara titik lokasi sampel yang dianalisis. Konsentrasi ini hampir sama dan konsentrasi tembaga yang terdapat di dalam biji kakao di Negara Nigeria dengan rata-rata 2,61 mg/100 g berat kering. Kandungan tembaga kakao enam titik lokasi Negara Pantai Gading tersebut memiliki nilai maksimum 3,12 mg/100 g kakao di Zona 1 dan nilai terendah adalah 2,08 mg/100 g kakao di Zona 5 (Laine dkk., 2015). Aplikasi fungisida berbasis Cu adalah kegiatan rutin di antara petani kakao aktif (Aipokpodian dkk., 2013) yang menyebabkan tingginya tembaga dalam biji kakao.

Tembaga dalam tanah daerah transmigrasi yaitu rata-rata 3,394 mg/100 g dan daerah perkebunan 3,816 mg/100 g. Menurut Pendias (2011), rentang normal total kandungan rata-rata Cu dalam tanah dari berbagai kelompok di seluruh dunia berkisar antara 14 dan 109 mg/kg. Tembaga sangat terkait dengan tekstur tanah dan biasanya paling rendah di tanah berpasir dan tertinggi di tanah liat. Keteraturan Cu di tanah menunjukkan dua faktor utama yaitu bahan induk tanah dan proses pembentukan tanah.

Konsentrasi Cu dalam 3045 sampel tanah permukaan dari area produksi pertanian utama Amerika Serikat bervariasi dari <0,6 hingga 495 mg/kg (rata-rata 18 mg/kg). Kisaran untuk Cu dalam tanah di Afrika Selatan diberikan sebagai 3–117 mg/kg (Herselman dkk., 2005). Kandungan Cu yang relatif tinggi, hingga 22,360 mg/kg (rata-rata 17 mg/kg), dilaporkan untuk beberapa tanah Republik Slovakia (Cílik dan Šefcefik, 1999). Tembaga adalah unsur yang agak tidak bergerak (setengah mobil) dalam tanah dan menunjukkan variasi yang relatif sedikit dalam total kandungan profil tanah. Karakteristik umum distribusi Cu dalam profil tanah adalah akumulasinya. Konsentrasi Cu di permukaan tanah mencerminkan bioakumulasi serta sumber antropogeniknya (Pendias dan Pendias 2011).

c. Mangan (Mn)

Kandungan mangan dalam biji kakao daerah transmigrasi didapatkan hasil penelitian yaitu rata-rata 2,601 mg/100 g sedangkan daerah perkebunan yaitu sebesar 1,571 mg/100 g. Kandungan mangan dari daerah pesisir sebesar 6,330 mg/100 g. Konsentrasi dari daerah perkebunan dan daerah transmigrasi ini tidak berbeda jauh dengan kandungan mangan di Central Amerika sebesar 24,1 mg/kg (Bertoldi, dkk 2016). Jumlah rata-rata kandungan Mn dalam tanaman pangan adalah paling rendah 0,13 dan tertinggi 11,3 mg/100 g (Pendias, 2011).

Kandungan mangan dalam biji kakao daerah transmigrasi lebih besar dibandingkan dengan daerah perkebunan karena dipengaruhi oleh

besarnya kandungan mangan dalam tanah daerah transmigrasi. Walaupun ada berapa titik lokasi 2-4 kandungan mangan dalam tanah daerah perkebunan lebih besar dibandingkan dengan daerah transmigrasi tetapi untuk titik 1 dan 5 kandungan mangan dalam tanah transmigrasi jauh lebih besar dari daerah perkebunan.

Mangan dalam tanah daerah transmigrasi yaitu rata-rata 66,273 mg/100 g dan daerah perkebunan 53,350 mg/100 g. Berdasarkan Pendias (2011), rentang normal kandungan unsur kelumit mangan dalam tanah berkisar 411-550 mg/kg, sedangkan konsentrasi maksimum mangan dalam tanah 821,23 mg/kg. Menurut Auber (1977), konsentrasi terendah telah ditemukan di tanah podzolik tertentu: tanah podzolik Polandia mengandung mangan 50 mg/kg, tanah podzolik Skotlandia mengandung 50 mg/kg dari Norwegia 100-220 mg/kg. Di sisi lain, di Belarus kandungan mangan berkisar dari 280 hingga 750 mg/kg.

d. Nikel (Ni)

Biji kakao di daerah transmigrasi didapatkan hasil penelitian yaitu rata-rata 2,899 mg/100 g sedangkan daerah perkebunan yaitu sebesar 1,478 mg/100 g. Kandungan nikel dalam biji kakao dari daerah pesisir sebesar 2,443 mg/100 g. Konsentrasi ini tidak berbeda jauh dari konsentrasi nikel yang terdeteksi dalam biji kakao dari Ekuador (2,32 mg/100 g). Kandungan nikel dalam biji kakao yang berasal dari Republik Dominika (7,62 mg/100 g) lebih dari tiga kali lebih tinggi daripada biji dari Ekuador (Kruszewski dkk., 2017). Perbedaan ini menunjukkan

bahwa lokasi geografis pohon kakao memiliki dampak yang besar terhadap kandungan nikel biji kakao, seperti yang terlihat jelas dalam hasil penelitian (Bertoldi dkk., 2016).

Kandungan nikel dalam biji kakao daerah transmigrasi lebih besar dibandingkan dengan daerah perkebunan karena dipengaruhi oleh besarnya kandungan nikel dalam tanah daerah transmigrasi. Nikel dalam tanah daerah transmigrasi yaitu rata-rata 179,160 mg/100 g dan daerah perkebunan 22,201 mg/100 g, besarnya kandungan nikel dalam tanah daerah transmigrasi dipengaruhi oleh pH. Menurut Pendias (2011), tanah kaya mineral atau disebut *ultramavic rock* kandungan rata-rata 400-200 mg/kg. Menurut (RiCHter dkk dalam Harasim 2015), mobilitas nikel dalam tanah adalah lokasi spesifik, terutama tergantung pada jenis tanah dan pH. Mobilitas nikel dalam tanah meningkat pada pH rendah. Konsentrasi oksida besi tanah juga merupakan faktor kunci yang mempengaruhi adsorpsi nikel.

Kadar ini lebih tinggi dibandingkan dengan kadar nikel di Polandia, kadar nikel di 60 sampel tanah dikumpulkan dari Stalowa daerah Wola, yang terpengaruh oleh emisi industri, lebih tinggi (rata-rata 17,20 mg/100 g) (Cempel dan Nikel, 2006). Nikel banyak digunakan pada peralatan dapur, dan gedung serta komponen industri sehingga pada penelitian ini di daerah transmigrasi kandungan nikel lebih besar di bandingkan dengan daerah perkebunan dimana Luwu Timur terdapat industri penambangan nikel dan merupakan daerah transmigrasi yang dapat menyebabkan akumulasi mineral esensial dalam tanah. Pendias

(2011), mengatakan bahwa dampak nikel dalam tanah melalui proses pembentukan tanah dan aktivitas antropogenik.

Menurut Pendias (2011), tanah di seluruh dunia mengandung Ni dalam kisaran yang sangat luas, namun konsentrasinya rata-rata, sebagaimana dilaporkan untuk berbagai negara berada dalam kisaran 13–37 mg/kg. Konsentrasi ini hampir sama dengan konsentrasi nikel yang ada di daerah perkebunan namun berbeda di daerah transmigrasi yang kandungannya lebih tinggi.

Nikel tertinggi diberikan untuk tanah yang tidak terkontaminasi dari berbagai negara, sebagai berikut (dalam mg/kg): (1) 119, Kanada; 243 (2) 450, Cina; 1124 (3) 660, Jepang; 660 dan (4) 3240, Italia 0,946 Tanah Afrika Selatan mengandung Ni dalam kisaran 3,43-159 mg/kg, dan tingkat maksimum yang diizinkan dalam tanah pertanian, didirikan pada tahun 1997, adalah 50 mg/kg (Herselman dkk., 2005). Rata-rata kandungan Ni dalam tanah dari area produksi pertanian utama Amerika Serikat adalah 16,5 mg/kg, mulai dari 0,7 hingga 269 mg/kg (Pendias dan Pendias, 2011).

e. Seng (Zn)

Seng (Zn) dalam biji kakao di lokasi daerah transmigrasi yang dipantau adalah 3,830 mg/100 g dan daerah perkebunan yaitu sebesar 5,829 mg/100 g. Kandungan nikel dalam biji kakao daerah pesisir sebesar 5,918 mg/100g. Kandungan seng dari ketiga titik lokasi penelitian ini tidak berbeda jauh dengan kandungan seng dalam biji kakao dari titik lokasi penelitian di negara Pantai Gading di mana di zona 1 dan 2 masing-

masing 4,42 dan 4,15 mg/100 g kakao. Nilai terendah adalah di zona 5, dengan nilai 3,09 mg/100 g kakao (Laine dkk., 2015)

Seng dalam tanah daerah perkebunan yaitu rata-rata 8,607 mg/100 g dan daerah transmigrasi 1,571 mg/100 g. Pendias (2011), rentang normal kandungan unsur kelumit mangan dalam tanah berkisar 60-89 mg/kg. Kandungan seng daerah perkebunan tidak berbeda jauh dengan kandungan Zn dalam tanah pertanian Swedia berkisar antara 6 hingga 152 mg/kg, dengan nilai rata-rata 65 mg/kg (Eriksson, 2001). Di Amerika Serikat, rata-rata Zn dalam tanah yang dibudidayakan dilaporkan 43 mg/kg, dalam kisaran 3–264 mg/kg. Holmgren dalam Pendias (2011), kandungan seng tanaman sangat bervariasi, namun konsentrasinya di beberapa tanaman, dari berbagai negara tidak jauh berbeda.

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa seng dalam biji kakao lebih besar dibandingkan dengan jumlah kandungan seng yang ada di tanah. Besarnya kandungan seng dalam biji kakao yaitu dapat berasal dari kegiatan industri, seperti industri peleburan logam (elektroplating) (Mukhtar dkk, 2013).

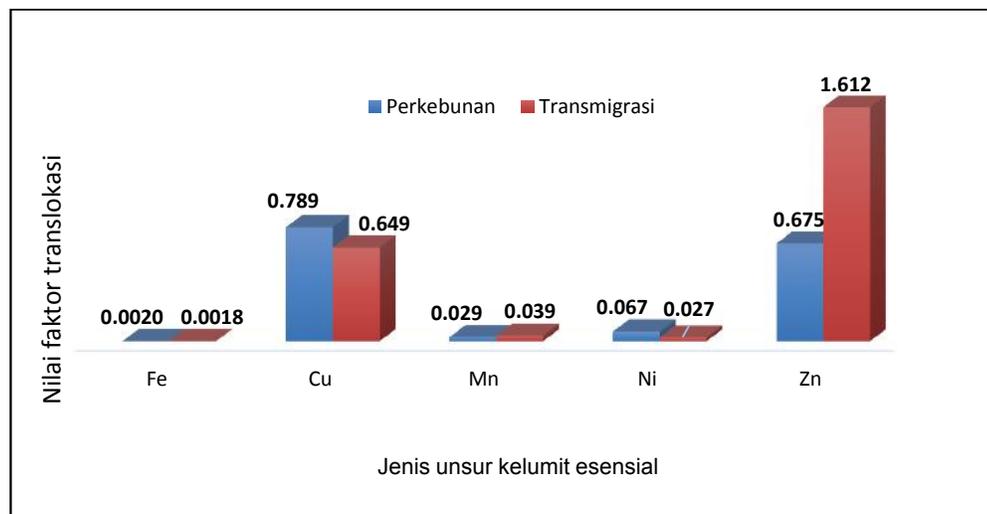
2. Penyerapan Unsur Kelumit Esensial

Semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah yang bervariasi (Knox dalam Irawanto, 2015). Dengan demikian yang paling menentukan adalah jenis/spesies tumbuhan. Dari hasil analisis tumbuhan mampu menyerap logam dan mentranslokasikannya ke bagian tumbuhan mulai dari akar hingga ke

seluruh bagian tumbuhan. Kemampuan suatu tumbuhan menyerap logam dapat diketahui dari nilai TF (*Translocation Factor*). Faktor translokasi dapat dihitung untuk mengetahui translokasi logam yang masuk ke bagian tumbuhan dari tanah ke bagian lain di tumbuhan. Menurut Singh dkk., (2010), persamaan dari TF sebagai berikut.

$$TF = \frac{\text{Konsentrasi logam di bagian tumbuhan}}{\text{Konsentrasi logam di tanah}}$$

Faktor translokasi logam-logam ini dalam biji kakao di seluruh wilayah ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Histogram faktor translokasi unsur kelumit esensial Fe, Cu, Mn, Ni, Zn.

Translokasi logam dari tanah ke biji kakao untuk logam esensial (Fe, Mn, Cu, Zn) sangat rendah. Rendahnya nilai TF pada logam esensial menunjukkan bahwa tanaman menggunakan logam tersebut untuk aktivitas metabolisme dan pertumbuhan (Kimet 2003 dalam Yoon dkk, 2006).

a. Faktor translokasi Fe

Hasil analisis tumbuhan mampu menyerap logam dan mentranslokasikannya dari tanah hingga ke biji kakao dapat dilihat pada Gambar 6 menunjukkan bahwa rata-rata faktor translokasi daerah perkebunan sebesar 0,0020 dan daerah transmigrasi yaitu sebesar 0,0018. Kecilnya besi yang terserap kedalam biji kakao disebabkan besi ditranslokasikan lebih banyak ke daun, hal ini disebabkan karena Fe merupakan logam esensial bagi tumbuhan yang digunakan dalam proses fotosintesis dan respirasi oleh tumbuhan. Selain itu, di musim kemarau daun tumbuhan gugur untuk mengurangi penguapan sehingga alokasi Fe berada paling banyak di daun.

Warna merupakan indikator kesuburan atau kapasitas produksi lahan secara umum dikatakan bahwa makin gelap tanah berarti makin tinggi produktivitasnya. Tanah yang berwarna gelap banyak mengandung bahan organik tanah sehingga relatif subur. Warna tanah hitam kaya akan bahan organik, bahan organik melalui proses dekomposisi akan menyumbangkan ketersediaan mineral (Hanafiah, 2009), sehingga dari distribusi unsur kelumit esensial daerah perkebunan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah transmigrasi dilihat dari Gambar 6 faktor translokasi.

Menurut Brown 1986 dalam Briat dkk., (2007), keberadaan besi sangat melimpah di alam, namun pada daerah tertentu ketersediaan secara hayati atau bioavailabilitas besi bagi tumbuhan sangat rendah. Hal ini terjadi karena besi bersenyawa dengan unsur lain membentuk material

sukar larut dalam air sedangkan tanaman dapat menyerap besi dari dalam tanah hanya jika besi berada dalam bentuk solut. Berdasarkan teori tersebut maka sesuai dengan hasil penelitian ini yaitu kandungan besi dalam tanah lebih besar dibandingkan dengan besi yang ada dalam kakao. Kecilnya besi yang masuk ke dalam biji kakao karena sebagian besar mineral besi ditranslokasikan ke dalam bagian tanaman kakao yang lain. Sekitar 80% zat besi ditemukan dalam sel fotosintesis di mana ia sangat penting untuk biosintesis sitokrom dan molekul heme lainnya, termasuk klorofil, sistem transportasi elektron, dan konstruksi gugus Fe-S

b. Faktor translokasi Cu

Hasil analisis tumbuhan mampu menyerap logam dan mentranslokasikannya dari tanah hingga ke biji kakao dapat dilihat pada Gambar 6 menunjukkan bahwa rata-rata translokasi faktor daerah perkebunan sebesar 0,789 dan daerah transmigrasi yaitu sebesar 0,649.

Ada hubungan yang kuat antara KTK dan pH tanah, karena pH tanah meningkat dengan meningkatnya konsentrasi KTK. Koreksi pH misalnya, memfasilitasi peningkatan pertukaran kation, memungkinkan penyerapan nutrisi yang lebih besar (makro dan mikro) oleh akar tanaman. pH tanah mendekati kondisi netral memberikan kondisi kapasitas pertukaran kation optimal untuk bioavailabilitas. Faktor penentu utama KTK adalah tanah liat dan bahan organik. Ini karena keduanya memiliki muatan negatif cukup kuat untuk menarik unsur kationik bermuatan positif. Tanah dengan berbagai kandungan mineral lempung

dan bahan organik memiliki nilai KTK yang berbeda. Tanah kaya akan bahan organik memiliki nilai KTK yang tinggi. Tanah dengan KTK tinggi memiliki warna mulai dari cokelat tua hingga hitam karena kandungan lignin yang tinggi dari bahan organik (Aprile dan Lorandi, 2012), sehingga translokasi faktor tembaga pada daerah perkebunan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah transmigrasi dimana daerah perkebunan kaya akan bahan organik.

Kandungan Cu sangat berkorelasi dengan karakteristik tanah (pH, tekstur, kandungan bahan organik, KTK). Secara umum, faktor-faktor tanah ini mempengaruhi tanah yang dapat mempengaruhi kandungan Cu tanaman. Pengecualian, bagaimanapun, adalah kandungan bahan organik tanah. Kandungan bahan organik meningkatkan tembaga pada tumbuhan (Sillanpaa, 1982).

Dalam jaringan akar, Cu hampir seluruhnya dalam bentuk kompleks, namun, kemungkinan besar logam memasuki sel-sel akar dalam bentuk terdisosiasi. Pergerakan Cu di antara berbagai bagian tanaman memainkan peran dominan dalam pemanfaatan tanaman Cu. Mobilitas Cu dalam jaringan tanaman sangat tergantung pada tingkat pasokan Cu. Namun, Cu memiliki mobilitas yang rendah relatif terhadap unsur-unsur lain dalam tanaman dan sebagian besar logam ini tampaknya tetap berada di akar dan jaringan daun (Pendias dan pendias, 2011).

Sebagian besar Cu dalam jaringan hijau terikat pada plastocyanin dan dalam beberapa fraksi protein. Ada juga kecenderungan untuk

mengakumulasi Cu dalam organ reproduksi tanaman. Konsentrasi Cu tertinggi ditemukan pada embrio biji-bijian sereal dan kulit biji. Menurut Loneragan dalam Pendias (2011), konsentrasi Cu (dalam mg/kg) dari 2 hingga 18 dalam embrio, dan dari 8 hingga 23 dalam kulit biji, sedangkan dalam seluruh biji nilai tertinggi adalah 4.

Tembaga berfungsi penting dalam proses fisiologis, seperti: fotosintesis dan respirasi, metabolisme karbohidrat dan nitrat, reproduksi, resistensi penyakit. Tembaga mengontrol produksi DNA dan RNA, dan defisiensi tembaga sangat menghambat reproduksi tanaman, (mengurangi produksi benih, sterilitas serbuk sari). Cu terlibat dalam mekanisme resistensi penyakit. Resistensi tanaman terhadap penyakit jamur ini kemungkinan berhubungan dengan suplai Cu yang memadai (Pendias, 2011).

c. Faktor translokasi mangan

Hasil analisis tumbuhan mampu menyerap unsur kelumit esensial dan mentranslokasikannya dari tanah hingga ke biji kakao dapat dilihat pada Gambar 6 menunjukkan bahwa rata-rata faktor translokasi daerah perkebunan sebesar 0,029 dan daerah transmigrasi yaitu sebesar 0,039. Pendias (2011), Mn tidak terdistribusi secara seragam dalam substrak tanah diketahui juga terkonsentrasi di titik-titik tertentu yang biasanya diperkaya dalam beberapa unsur kelumit lainnya. Koloid Mn oksida mengungkapkan hubungan yang besar untuk adsorpsi bentuk kationik dan anionik unsur-unsur serta zat anorganik dan organik. Dengan demikian,

oksida Mn memiliki dampak besar pada imobilisasi unsur kelumit dalam tanah. Sebaliknya, karena sifat pereduksi dan oksidasi, Mn oksida dapat meningkatkan mobilisasi beberapa logam dalam kondisi tanah tertentu.

Berdasarkan studi lokasi yang dilakukan daerah transmigrasi memiliki pH 5,8 dan daerah perkebunan pH 6,4 dan ketersediaan di tanah dilihat pada Gambar 6. Pendias dan Pendias (2001), mengatakan bahwa ada beberapa faktor tanah mempengaruhi ketersediaan Mn untuk tanaman.

Efek dari beberapa faktor tanah seperti pH, KTK, bahan organik, yang paling mencolok adalah pH tanah yang mempengaruhi Mn tanah dan tanaman. Pengaruh pH tanah terhadap Mn tanah dan Mn tanaman. Kandungan Mn tanaman menurun dengan cepat seiring meningkatnya pH. Umumnya, korelasi Mn tekstur tanah jauh lebih lemah daripada antara Mn dan pH. Sebagai bahan organik isi tanah meningkat, kandungan Mn tanaman dan kandungan Mn tanah dapat cenderung meningkat. Tetapi justru menunjukkan kecenderungan kadar Mn tanah menurun pada tingkat bahan organik tertinggi. Kapasitas pertukaran kation memiliki efek yang relatif lemah (Sillanpaa, 1982). Kelarutan Mn tanah tanaman Mn terutama tergantung pada kumpulan Mn terlarut dalam tanah. Secara umum, Mn sangat *mobile* pada kisaran pH asam. Pada pH <5,5 mobilitas Mn meningkat, dan Mn menjadi mudah tersedia bagi tanaman. Pada penelitian ini dilihat dari Gambar 6 translokasi faktor mangan pada daerah transmigrasi lebih tinggi dibandingkan dengan

daerah perkebunan disebabkan oleh pH tanah, dimana pH tanah transmigrasi lebih rendah dibandingkan dengan daerah perkebunan.

Mangan diperlukan dan aktivator beberapa enzim, stimulator pemecahan molekul air pada fotosintesis dan sebagai komponen struktural pada sistem membran kloroplas (Hanafiah, 2005). Mangan terdistribusi cukup merata di setiap bagian tumbuhan (Buchanan dkk., 2000).

d. Faktor translokasi nikel

Hasil analisis tumbuhan mampu menyerap logam dan mentranslokasikannya dari tanah hingga ke biji kakao dapat dilihat pada Gambar 6 menunjukkan bahwa rata-rata faktor translokasi daerah perkebunan sebesar 0,067 dan daerah transmigrasi yaitu sebesar 0,027.

pH adalah faktor utama yang terlibat dalam variasi penyerapan nikel, dan tanpa oksida besi, penyerapan maksimum terjadi pada nilai pH yang lebih tinggi. Penyerapan Ni dipengaruhi tidak hanya oleh pH tanah, tetapi juga oleh KTK, kandungan tanah liat, bahan organik, dan oksida Fe yang ada dalam tanah dan faktor-faktor lain (Mellis, 2004). Nilai TF pada daerah perkebunan lebih tinggi di bandingkan daerah transmigrasi dimana pH, bahan organik, KTK yang memungkinkan ketersediaan hara bagi tumbuhan lebih tinggi pada daerah perkebunan.

Massoura et al dalam Pendias (2007), melaporkan bahwa Ni yang terkait dengan phyllosilicates (mineral silikat) lebih mudah diambil oleh

tanaman daripada yang terkait dengan Fe oksida. Daerah transmigrasi didominasi oleh besi oksida sehingga akan menghambat penyerapan Ni terhadap tanaman.

Nikel umumnya didistribusikan secara seragam melalui profil tanah tetapi biasanya terakumulasi di permukaan dari deposisi oleh kegiatan industri dan pertanian. Nikel dapat menimbulkan masalah besar di tanah dekat kota, di industri daerah percobaan, atau bahkan di lahan pertanian yang menerima limbah seperti lumpur limbah (Cammel dan Nikel, 2006).

Nikel berpartisipasi dalam metabolisme selama fase reproduksi pertumbuhan. Penyerapan nikel dalam sistem akar tanaman terjadi melalui difusi pasif dan transpor aktif. Faktor yang mempengaruhi bioavailabilitas Ni dan penyerapan oleh tanaman yaitu konsentrasi nikel dalam tanah, keasaman tanah atau larutan tanah, kehadiran logam pesaing lainnya, komposisi organik tanah (Ahmad, 2011). Senyawa Ni terlarut dapat diserap melalui sistem transportasi kation (Oller dkk., 1997). Penyerapan nikel menjadi tanaman dimodulasi oleh pH tanah.

Kelebihan kadar Ni juga mempengaruhi penyerapan nutrisi melalui akar, mengganggu metabolisme tanaman dan menghambat sintesis-foto dan transpirasi. Pada akhirnya, penurunan proses ini menyebabkan berkurangnya hasil panen pertanian, ketika tingkat Ni yang berlebihan ada di tanah (Ahmad, 2011).

e. Faktor translokasi seng

Hasil analisis tumbuhan mampu menyerap logam dan mentranslokasikannya dari tanah hingga ke biji kakao dapat dilihat pada Gambar 6 menunjukkan bahwa rata-rata faktor translokasi daerah perkebunan sebesar 0,675 dan daerah transmigrasi yaitu sebesar 1,612.

Pada daerah transmigrasi tingginya faktor translokasi pada Zn dipengaruhi oleh akumulasi logam yang dapat dimungkinkan sumber logam Zn lain seperti kegiatan industri. Berdasarkan hasil penelitian Maulidiyah dkk (2014), senyawa pektin dalam buah kakao mampu menyerap logam seng sebanyak 87,55%.

Secara umum, kandungan bahan organik dan pH tanah lebih baik berkorelasi dengan Zn daripada faktor-faktor tanah lainnya yang diteliti. Seng dalam tanaman menurun dengan meningkatnya pH. Kapasitas pertukaran kation hanya memiliki efek moderat pada tanaman dan tanah Zn. Seng untuk pH hanya mempengaruhi sedikit hubungan KTK (Sillanpaa, 1982). Kation Zn membentuk khelat dengan senyawa organik sehingga Zn ketersediaannya menurun dengan meningkatnya kadar bahan organik tanah. Oleh karena itu, defisiensi Zn sering di jumpai pada tanah organik dan juga pada tanah berpasir (Hanafiah, 2009). Dengan demikian dapat dilihat pada Gambar 6 nilai TF daerah transmigrasi lebih tinggi di dibandingkan pada daerah perkebunan karena dipengaruhi oleh pH dan bahan organik.

Seng memainkan peran yang sangat penting dalam metabolisme tanaman dengan memengaruhi aktivitas hidrogenase dan karbonat

anhidrase, stabilisasi fraksi ribosom dan sintesis sitokrom. Enzim tanaman yang diaktifkan oleh Zn terlibat dalam metabolisme karbohidrat, pemeliharaan integritas membran sel, sintesis protein, regulasi sintesis auksin dan pembentukan serbuk sari (Hafeez dkk., 2013).

Penyerapan Zn bervariasi di antara spesies tanaman dan ditentukan oleh komposisi dan konsentrasi media pertumbuhan. Translokasi Zn ke xilem akar terjadi melalui symplast dan apoplast tetapi kandungan seng yang tinggi terdeteksi di floem, menunjukkan bahwa logam ini ditranslokasi melalui jaringan xilem dan floem (Hafeez dkk., 2013).

Faktor-faktor penting yang mengendalikan mobilitas Zn dalam tanah sangat mirip dengan Cu, tetapi Zn tampaknya terjadi dalam bentuk yang lebih mudah larut.

Ketersediaan optimum unsur kelumit esensial pada di tanah di pengaruhi oleh pH. Unsur kelumit esensial Mn, Zn, Cu, Ni berada pada pH 5,0-6,5 sedangkan untuk unsur kelumit esensial Fe berada pada pH 6 kebawah. Hal ini sesuai dengan pH yang terukur pda daerah transmigrasi dan daerah perkebunan dimana pH transmigrasi memiliki pH 5,8 dan daerah perkebunan memiliki pH 6,4.

Pada Gambar 6 nilai faktor translokasi Fe, Cu dan Ni lebih tinggi di daerah perkebunan yang menunjukkan bahwa distribusi unsur kelumit esensial lebih tinggi di daerah perkebunan dibandingkan dengan daerah transmigrasi. Hal ini mungkin dipengaruhi oleh pH, bahan organik dan

kapasitas tukar kation. Nilai TF unsur kelumit esensial Mn dan Zn pada daerah transmigrasi lebih tinggi dibandingkan dengan daerah perkebunan karena korelasi Mn tekstur tanah jauh lebih lemah daripada antara Mn dan pH. Sebagai bahan organik isi tanah meningkat, kandungan Mn tanaman dan kandungan Mn tanah dapat cenderung meningkat. Seng dalam tanaman menurun dengan meningkatnya pH. Kapasitas pertukaran kation hanya memiliki efek moderat pada tanaman dan tanah Zn. Seng untuk pH hanya mempengaruhi sedikit hubungan KTK (Sillanpaa, 1982).

B. Kecukupan Unsur Kelumit Esensial Dalam Biji Kakao Sebagai Produk Pangan

1. Besi (Fe)

Zat besi merupakan mineral esensial dan komponen penting dari metalloprotein yang terlibat dalam transport oksigen dan metabolisme. Hampir dua per tiga zat besi ditemukan dalam hemoglobin. Zat besi bertanggung jawab untuk memproduksi hemoglobin pada eritroblas (Watania dkk., 2016).

Zat besi atau Fe berperan dalam pembentukan hemoglobin. Besi direduksi dari ferri menjadi ferro di saluran cerna, sehingga mudah diabsorpsi, selanjutnya bergabung dengan protein globin membentuk hemoglobin. Hemoglobin berperan dalam pengangkutan oksigen. Hemoglobin cenderung mengikat oksigen dalam lingkungan yang memiliki

kadar oksigen tinggi dan melepaskannya dalam lingkungan yang memiliki kadar oksigen relatif rendah. Dengan demikian hemoglobin mengambil oksigen dalam paru-paru dan melepaskannya ke jaringan aktif, seperti otot yang berkontraksi (Guyton, 1990 dalam Widiastuti, 2009).

Kekurangan zat besi dapat menyebabkan: anemia, penurunan daya ingat, gangguan belajar dan konsentrasi gangguan fungsi kekebalan tubuh. Penurunan kinerja olahraga aerobik. Kelelahan hasil kehamilan yang merugikan: risiko kelahiran prematur dan bayi berat lahir rendah keterlambatan motorik bayi dan fungsi mental yang dapat bertahan hingga dewasa muda (DHF, 2013).

Berdasarkan Tabel 3 angka kecukupan gizi indonesia laki-laki membutuhkan asupan mineral besi 13-19 mg dan perempuan 20-26 mg. dari hasil analisis daerah perkebunan dan daerah transmigrasi memberikan kontribusi mineral besi rata-rata 2,022 mg/100 g dan 2,684 mg/100g. asupan mineral lebih besar dibandingkan dengan daerah perkebunan karena daerah transmigrasi sudah diupayakan agar dapat setara dengan kebun lainnya. Menurut Ciquanta dkk (2016), unsur esensial mineral untuk nutrisi dalam berbagai produk cokelat. Sampel yang dianalisis kandungan besi diamati dalam cokelat susu yaitu 1,19 mg/100 g. Dengan demikian biji kakao yang berasal dari daerah perkebunan dan daerah transmigrasi dapat menyumbang kebutuhan nutrisi sebagai bahan baku produk pangan

Menurut Sager (2012), bahan-bahan seperti susu bubuk dan gula tidak berkontribusi terhadap kandungan logam dari produk jadi. Aditif lain mungkin kacang atau kismis, yang mungkin berkontribusi secara signifikan, sehingga penelitian tentang produk cokelat dan cokelat sebagai sumber unsur esensial dalam nutrisi dibatasi hanya untuk cokelat biasa dan susu.

Kebutuhan zat besi pada remaja juga meningkat karena terjadinya pertumbuhan cepat. Kebutuhan besi pada remaja laki-laki meningkat karena ekspansi volume darah dan peningkatan konsentrasi hemoglobin (Hb). Pada perempuan, kebutuhan yang tinggi akan besi terutama disebabkan kehilangan zat besi selama menstruasi. Hal ini mengakibatkan perempuan lebih rawan terhadap anemia besi dibandingkan laki-laki. Dapat dilihat pada Tabel 3 angka kecukupan gizi Indonesia pada perempuan yaitu 20 mg -26 mg.

Berdasarkan jurnal Bhattacharya dkk (2016), Anak 1-3 tahun membutuhkan :7 mg/hari; 4-8 tahun: 10 mg/hari; 9-13 tahun: 8 mg/hari; laki-laki umur 14-18 tahun: 11 mg/hari; perempuan 14-18 tahun: 15 mg/hari; dewasa: 8 mg/hari. Untuk pria berusia 19 tahun ke atas dan wanita berusia 51 dan wanita 19-50 tahun: 18 mg/hari, wanita hamil: 27 mg/hari, Ibu menyusui: 10 mg/hari.

Menurut FAO/WHO menganjurkan bahwa jumlah zat besi yang harus dikonsumsi sebaiknya berdasarkan jumlah kehilangan zat besi dari dalam tubuh. Kandungan zat besi dalam tubuh wanita adalah sekitar 35

mg/kg BB dan pada laki-laki 50 mg/kg BB, dimana 70% terdapat di dalam hemoglobin dan 25% merupakan zat besi cadangan yang terdapat dalam hati, limpa, dan sumsum tulang. Jumlah zat besi yang dapat disimpan dalam tubuh 0,5-1,5 g pada laki-laki dewasa dan 0,3-1,0 g pada wanita dewasa (Qamariah dkk., 2018).

2. Tembaga (Cu)

Tembaga berperan khususnya dalam beberapa kegiatan enzim pernapasan sebagai kofaktor bagi enzim tirosinase dan sitokrom oksidase. Tirosinase mengkatalisis reaksi oksidasi tirosin menjadi pigmen melanin. Sitokrom oksidase, suatu enzim yang terdiri dari gugus heme dan atom-atom tembaga, dapat mereduksi oksigen. Tembaga juga diperlukan dalam proses pertumbuhan sel-sel darah merah yang masih muda. Bila kekurangan tembaga, sel darah merah yang dihasilkan akan berkurang. Kebutuhan tubuh manusia akan tembaga telah ditetapkan sejak tahun 1974. Dari penelitian diperoleh bahwa sesungguhnya manusia cukup menerima tembaga dari bahan makanannya sehari-hari. Orang-orang dewasa akan mampu menjaga keseimbangan normal dengan mengkonsumsi 2 mg/hari. Sedang anak-anak gadis cukup mengkonsumsi 1,55 mg sampai 1,70 mg per hari (Winarno, 1992).

Berdasarkan Tabel 3 angka kecukupan gizi Indonesia laki-laki membutuhkan asupan mineral tembaga 0,7-0,9 mg dan perempuan 0,7-0,9 mg. Dari hasil analisis daerah perkebunan dan daerah transmigrasi memberikan kontribusi mineral tembaga rata-rata 3,009 mg/100 g dan 2,202 mg/100 g. Menurut Ciquanta dkk (2016), unsur esensial mineral

untuk nutrisi dalam berbagai produk cokelat. Sampel yang dianalisis kandungan tembaga secara signifikan lebih tinggi diamati dalam cokelat yang mengandung 90% kakao (*dark chocolate*) yaitu 2,0 mg/100g. Menurut Sager (2012), asupan tembaga total oleh pria dan wanita secara positif terkait dengan konsumsi makanan cokelat, yang merupakan sumber utama asupan Cu. 100 g cokelat memenuhi asupan harian yang direkomendasikan. Di antara makanan cokelat, cokelat hitam membuat kontribusi tertinggi terhadap asupan tembaga rata-rata harian diikuti oleh pai cokelat dan susu cokelat. Dengan demikian hasil analisis daerah perkebunan dan daerah transmigrasi dapat direkomendasikan sebagai bahan baku produk pangan yang dapat menyumbang kebutuhan nutrisi tubuh. Menurut penelitian Fartusie (2017), mengatakan Cu dalam kondisi normal orang dewasa yang sehat adalah 2 mg/hari.

Berdasarkan RAD (*Recommended dietary allowance*) Anak 1-3 tahun membutuhkan 340 mcg/hari; 4-8 tahun: 440 mcg/hari; 9-13 tahun: 700 mcg/hari; 14-18 tahun : 890 mcg/hari pria dan wanita usia 19 tahun lebih tua: 900 mcg/hari dan tingkat asupan yang masih ditoleransi yaitu Anak-anak 1 hingga 3 tahun: 1 mg/hari; 4 hingga 8 tahun: 3 mg/hari; 9 hingga 13 tahun: 5 mg/hari; 14 hingga 18 tahun: 8 mg/hari dewasa 19 tahun ke atas 10 mg/hari kehamilan: 8mg/hari (Bhattacharya dkk., 2016). Dengan demikian dari penelitian kami dapat dilihat pada Gambar 5 dapat kandungan tembaga dalam biji kakao dapat menyumbang kebutuhan harian manusia baik laki maupun perempuan.

Beberapa parameter mempengaruhi laju penyerapan Cu makanan, termasuk usia, jenis kelamin, jenis makanan, jumlah makanan Cu dan kontrasepsi oral. Parameter ini dapat menyebabkan tingkat penyerapan bervariasi antara 12 dan 71%. Efek usia dan jenis kelamin penyerapan Cu pada orang dewasa telah dilaporkan hanya dalam satu penelitian. selanjutnya dari Harvey et al dalam Bost dkk (2016), penyerapan Cu secara ditemukan 10% lebih tinggi pada wanita daripada pria, dan tidak terpengaruh oleh penggunaan hormon pada wanita (Bost dkk., 2016).

Tembaga diserap dalam usus kemudian diangkut ke hati yang terikat dengan albumin. Setelah diproses di hati, Cu didistribusikan ke jaringan lain. Tembaga adalah unsur penting dari beberapa enzim seperti itusebagai sitokrom oksidase, monoamine oksidase, katalase, peroksidase, asam askorbat oksidase, laktase, tirosinase, dan superoksida dismutase (SOD). Tembaga (Cu) terlibat dalam banyak reaksi metabolisme. Tembaga adalah mikronutrien esensial yang diperlukan untuk hematologidan sistem neurologis. Itu perlu untuk pertumbuhan dan pembentukan tulang, pembentukan selubung mielin dalam sistem saraf (Fartusia, 2017).

3. Mangan (Mn)

Mangan merupakan kofaktor enzim. Sebagai contoh dalam proses sintesis kolestetol dari asetilkoA, diperlukan enzim yang mengandung mangan yaitu enzim mevalonat kinase. Dalam pencernaan protein salah satu enzim peptidase memerlukan ion mangan atau ion kobalt sebagai

kofaktor. Mangan sangat mudah diserap kedalam tubuh dan dalam darah mangan berikatan dengan sebuah molekul protein (Winarno, 1992).

Berdasarkan Tabel 3 angka kecukupan gizi indonesia laki-laki membutuhkan asupan mineral mangan 1,3-2,3 mg dan perempuan 1,6-1,8 mg. Dari hasil analisis daerah perkebunan dan daerah transmigrasi memberikan kontribusi mineral mangan rata-rata 1,571 mg/100 g dan 1,801 mg/100 g, Dengan demikian mangan dari kedua perkebunan tersebut dapat menyumbang kebutuhan asupan mineral dalam tubuh manusia sehari baik perempuan maupun laki-laki. Menurut Ciquanta, dkk (2016) unsur esensial mineral untuk nutrisi dalam berbagai produk coklat. Konsentrasi Mn diamati dalam coklat yang mengandung kakao 90% dengan nilai 2,05 mg/100 g dan hal ini sesuai dengan nilai referensi gizi (NRV) di Uni Eropa yaitu sekitar 102,7% NRV, Dengan demikian dari hasil analisis daerah perkebunan dan daerah transmigrasi dapat direkomendasikan sebagai bahan baku produk pangan yang dapat menyumbang kecukupan nutrisi tubuh.

Distribusi dan regulasi di dalam tubuh manusia, hati (1,2-1,3 mg/kg), pankreas (1,04 mg/kg), tulang (1 mg/kg), ginjal (0,98 mg/kg) dan otak (0,15-0,46 mg/kg) adalah organ mengandung Mn tertinggi. Setelah terserap saluran paru-paru, Mn memasuki aliran darah dan kemudian dengan cepat mendistribusikan ke jaringan yang berbeda (Chen dkk., 2018).

Wanita cenderung memiliki tingkat Mn 30% lebih tinggi daripada pria, mungkin karena tingkat penyerapan yang lebih tinggi pada wanita. Saat ini, mekanisme di balik penyerapan Mn di usus dan pengiriman ke plasma masih belum jelas. Sebagian besar Mn darah (60%) didistribusikan dalam jaringan lunak, sisanya dengan cepat dikirim ke hati (30%), ginjal (5%), pankreas (5%), kolon (1%), tulang (0,5) .%), sistem urin (0,2.%), otak (0,1%) dan eritrosit (0,0,2%) (Chen dkk., 2018).

Paparan manusia terhadap Mn muncul dari sumber alami dan antropogenik, termasuk paparan lingkungan, pekerjaan dan medis. Mn memasuki tubuh manusia melalui konsumsi, paparan utero, inhalasi, pemberian intravena dan paparan kulit. Setelah diserap, Mn memasuki aliran darah dan didistribusikan melalui sirkulasi darah. Proses ini diatur dalam berbagai organ termasuk darah, hati, pankreas, ginjal, tulang serta otak. Pada tingkat sel, homeostasis Mn dipertahankan oleh transporter membran. Transporter membran meliputi importir dan eksportir. Mn didistribusikan lebih lanjut dan diatur dalam endosom, Lisosom, golgi, mitokondria, dan nukleus (Chen dkk., 2018).

4. Seng (Zn)

Hasil analisis daerah perkebunan dan daerah transmigrasi memberikan kontribusi mineral seng rata-rata 3,830 mg/100 g dan 5,829 mg/100 g. Menurut Ciquanta dkk (2016), unsur esensial mineral untuk nutrisi dalam berbagai produk coklat. Konsentrasi terendah Mn diamati dalam coklat yang mengandung kakao 90% dengan nilai 3,52 mg/100 g

dan hal ini sesuai dengan nilai referensi gizi (NRV) di Uni Eropa, sehingga dari hasil analisis daerah perkebunan dan daerah transmigrasi dapat direkomendasikan sebagai bahan baku produk pangan yang dapat menyumbang kebutuhan nutrisi tubuh.

Menurut WHO (1996), studi eksperimental manusia dengan diet rendah seng (2,6-3,6 mg/hari) telah menunjukkan bahwa seng plasma yang beredar dan aktivitas enzim yang mengandung seng dapat dipertahankan dalam kisaran normal selama beberapa bulan. Bhattacharya dkk (2016), ada 2-4 gram Zn yang didistribusikan ke seluruh tubuh manusia. Dengan demikian hasil analisis kandungan dari biji kakao dapat menyumbang kebutuhan kebutuhan harian tubuh sebesar 3,83 dan 5,8288 mg/100 g. Bhattacharya dkk (2016), bayi dan anak-anak 7 bulan mulai 3 tahun: 3 mg/hari; 4 sampai 8 tahun: 5 mg/hari; 9 sampai 13 tahun: 8 mg/hari, gadis 14 sampai 18 tahun.

Seng disimpan dalam prostat, bagian dari otak, otot, tulang, ginjal, dan liver. Ini merupakan logam transisi paling melimpah kedua dalam organisme setelah zat besi dan merupakan satu-satunya logam yang muncul di semua kelas enzim. Dalam plasma darah, Zn terikat dan diangkut oleh albumin (60%) dan transferrin (10%). Karena transferrin juga mengangkut zat besi, zat besi yang berlebihan dapat mengurangi penyerapan seng, dan pelayanan. Konsentrasi seng dalam plasma darah tetap relatif konstan terlepas dari asupan seng (Bhattacharya dkk., 2016)

Seng adalah komponen penting dari sejumlah besar (> 300) enzim yang berpartisipasi dalam sintesis dan degradasi karbohidrat, lipid, protein, dan asam nukleat serta dalam metabolisme. Seng menstabilkan struktur molekul komponen seluler dan membran dan dengan cara ini berkontribusi pada pemeliharaan sel dan integrasi organ (WHO, 2004). Seng terlibat dalam metabolisme protein, karbohidrat, lemak, dan energi. Seng sangat penting untuk kerja sehat banyak sistem tubuh; memiliki peran penting dalam jalur biokimia. Sangat penting untuk kulit yang sehat dan sangat penting untuk sistem kekebalan tubuh yang sehat dan resistensi untuk infeksi. Seng memainkan peran penting dalam pertumbuhan dan seldivisi di mana diperlukan untuk protein dan DNA sintesis, dalam aktivitas insulin, dalam metabolisme ovarium dan testis, dan dalam fungsi hati (Fartusie, 2017).

Gejala kelainan parah lainnya termasuk kerdil pertumbuhan dan perkembangan bayi yang terganggu, anak-anak, dan remaja. Kekurangan Zn awal juga menyebabkan gangguan fungsi kognitif, terganggu fungsi kekebalan tubuh, masalah perilaku, gangguan memori. Defisiensi seng menyebabkan rambut rontok, penurunan berat badan, penyembuhan luka tertunda, kelainan rasa, dan kelesuan mental bisa juga terjadi (Fartusie, 2017).

BAB V

A. Kesimpulan

1. Jumlah kandungan unsur kelumit esensial dalam biji kakao daerah perkebunan masing-masing sebesar 3,009; 2,022; 1,571; 1,478 dan 5,829 mg/100 g.

2. Jumlah kandungan unsur kelumit esensial dalam biji kakao daerah transmigrasi masing-masing sebesar 2,202; 2,684; 2,601; 2,998; dan 3,830 mg/100 g.
3. Biji kakao kaya akan mineral esensial dan memiliki potensi menjadi bahan baku produk pangan yang dapat menyumbang kebutuhan nutrisi tubuh.

B. Saran

1. Agar penelitian selanjutnya dapat meneliti kandungan makro esensial pada perkebunan Luwu timur.
2. Agar penelitian selanjutnya dapat melanjutkan penelitian kami untuk diterapkan kedalam produk pangan.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, M.S.A., dan Ashar, M. 2011. *Essential Roles and Hazardous Effects of Nickel in Plants*. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. Pakistan.

Aipokpodian, E.P., Odule, O.C.A., Osobamiro, T., Oduwole, O.O., and Ademola, S.M. 2013. A Survey Of Copper, Lead, Cadmium and Zinc Residues in Cocoa Beans Obtained From Selected Plantations

In Nigeria. *Journal of Chemical And Pharmaceutical Research*. 5(6):88-89.

- Arham, S, Asmin, L.O., Rosmini dan Hasriati. 2016. Analisis Tingkat Pencemaran Logam Berat Tanah Perkebunan Kakao Kolaka Timur. Lppm Institut Agama Islam Negeri (IAIN). *Skripsi*. Kendari.
- Arevalo, G.,E., Cesar, O., Hernandez, A., Virupax, C. B., dan Zhenli, L, H. 2017. Heavy Metal Accumulation in Leaves and Beans of Cacao (Theobroma Cacao L.) in Major Cacao Growing Regions in Peru. *Science of The Total Environment*. 605 (606) :792–800.
- Arief, R.W., dan Asnawi, R. 2011. Karakterisasi Sifat Fisik Dan Kimia Beberapa Jenis Biji Kakao Lindak Di Lampung. *Buletin RISTR*. 2 (3):325-330.
- Assa, A., Noor, A., Misnawi, Djide, M.N., dan Muliadi. 2017. Protein and Mineral Contents of Cocoa Beans Fermentation from Luwu Timur Regency. South Sulawesi. *Pelita Perkebunan*. 33 (3):196-202.
- Aubert, H., dan Pinta, M. 1977. *Trace Element in Soils*. O.R.S.T.O.M. By Elsevier Scientific Publishing Company. New York.
- Aprile, F., Lorandi, R. 2012. Evaluation of Cation Exchange Capacity (CEC) in Tropical Soils Using Four Different Analytical Methods. *Journal of Agricultural Science*. 4(6):1-12.
- Avci, H., Deveci, T. 2013. Assessment Of Trace Element Concentrations In Soil And Plants From Cropland Irrigated With Wastewater, *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 98: 283–291.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2008. *Biji Kakao Amandemen 1*. SNI 2323:2008. Jakarta.
- Banuelos, G.S., Ajwa, H.A. 1999. Trace elements in soils and plants: An Overview. *Journal of Environmental Science and Health*. (34)4: 951-974.
- Basri, Z. 2010. Mutu Biji Kakao Hasil Sambung Samping. *Media Litbang Sulteng*. (2) : 112 – 118. ISSN : 1979 – 5971.
- Bertoldi, D., Barbero, A., Camin, F., Caligiani, A., Larcher, R. 2016. Multielemental Fingerprinting and Geographic Traceability of Theobroma Cacao Beans and Cacao Products. *Food Control*. 65:46-53.

- Bhattacharya, P.T., Misra, S.R., dan Hussain, M. 2016. Nutritional Aspects of Essential Trace Elements in Oral Health and Disease: An Extensive Review. Hindawi Publishing Corporation Scientifica, 1-12.
- Bouis, H. E., and Welch, R. M. 2010. Biofortification-a Sustainable Agricultural Strategy For Reducing Micronutrient Malnutrition in The Global South. *Crop Science*. 50: 21-32.
- Boss, C.B., and Freeden, K.J. 2004. *Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*. PerkinElmer. USA.
- Bost, M., Houdart, S., Oberli, M., Kalonji, E., Huneau, J.F., dan Margaritis, I. 2016. Dietary Copper And Human Health: Current Evidence and Unresolved Issue. *Journal Of Trace Element In Medicine and Biology*. 35: 107–11.
- Boumans. 1987. *Inductively Coupled Plasma-Emission Spectroscopy-Part 1*. John Wiley dan Sons. New York.
- Briat, J.F., Curie, C., dan Gaymard, F. 2007. Iron Utilization and Metabolism in Plant. *Current Opinion in Plant Biology*.10:276–282.
- Buchanan, B., Grusen, W., dan Jones, R. 2000. *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Physiologist. Maryland. Amerika Serikat.
- Cempel, M., Nikel, G. 2006. Nickel A Review of Its Sources and Enviromental Toxycology. *Polish J. of Environ. Stud*. 15(3):375-382.
- Chavez, E., He, Z.L., Stofella, P.J., Mylavarapu, R.S., Li, Y.C., Moyano, B., Baligar, V.C. 2015. Concentration of Cadmium in Cacao Beans and its Relationship With Soil Cadmium in Southern Ecuador. *Sci. Total Environ*. 533: 205–214.
- Chen, P., Bornhorst, J., dan Aschner, M. 2018. Manganese Metabolism in Human. *Frontiers In Bioscience*. Landmark. 23:1655-1679.
- Cinquanta L., Cesare, C.D., Manoni, R., Piano, A., Roberti, P., Salvatori, G., 2016, Mineral Essential Elements For Nutrition In Different Chocolate Products, *International Journal Of Food Sciences And Nutrition*, ISSN: 0963-7486.
- Colombo, C., Palumbo, G., Zheng, H., J., Pinton, R., And Cesco, S. 2013. Review On Iron Availability in Soil: Interaction of Fe Minerals, Plants, And Microbes. *J. Soils Sediment*.

- Depparaba, F. 2002. Penggerek Buah Kakao (*Cenopomorpha cramerella Snellen*) dan Penanggulangannya. *Jurnal Litbang Pertanian*. 21 (2): 69-74.
- Dewi, L.R. 2013. Pengaruh Bahan Organik dan Trace Elements Terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Gula Tanaman Stevia (*Stevia Rebaudiana Bertoni M.*). *Jurnal Matematika, Sains, dan Teknologi*. 14 (1) : 26-36.
- DHF. 2013. *Information About Iron Third Edition*. GESA. Australia.
- Eriksson, J.E. 2001. *Concentrations of 61 Trace Elements in Sewage Sludge, Farmyard Manure, Mineral Fertilizers, Precipitation and in Oil and Crops*. Swedish EPA. Rep 5159. Stockholm.
- Fartusie, F.S.A., Mohssan, S.N. 2017. Essential Trace Elements and Their Vital Roles in Human Body. *Indian Journal of Advances in Chemical Science*. 5(3):127-13.
- Forsgard, N. 2007. *Inductively Coupled Plasma Spectrometry for Speciation Analysis*. ACTA. Upsala.
- Graham, R.D., dan Stangoulis, J.C.R. 2003. Trace Element Uptake and Distribution in Plants1. *American Society for Nutritional Sciences*. Department of Plant Science. University of Adelaide, Waite Campus, South Australia.
- Guldas, M. 2008. Comparison Of Digestion Methods And Trace Elements Determination In Chocolates With Pistachio Using Atomic Absorption Spectrometry. *Journal of Food and Nutrition Research*. 2(47):92-99.
- Hafeez, B., Khanif, M.Y., dan Saleem, M. 2013. Role of Zink in Plant Nutrition- A Review. *American Journal of Experimental Agriculture*. 3(2): 374-391.
- Hatmi, R. U., dan Rustijarno, S. 2012. *Teknologi Pengolahan Biji Kakao Menuju SNI Biji Kakao 01-2323-2008*. BPTP Yogyakarta.
- Hanafiah, K.A. 2009. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Divisi Buku Perguruan Tinggi PT. Rajagrafindo Persada, Jakarta.
- Harasim, P., dan Filipek, T. 2015. Nickel in The Environment. *Journal of Elementology*. 20(2): 525-534.

- Hayati, R., Yusmanizar, Mustafiril, dan Fauzi, H. 2013. Kajian Fermentasi dan Suhu Pengeringan pada Mutu Kakao (*Theobroma cacao L.*). *Jurnal Keteknik Pertanian*. 2 (26):129-135.
- Herselman, J.E., Steyn, C.E., Fey, M.V. 2005. Baseline Concentration of Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Ni and Zn in Surface Soils of South Africa, *South African J. Sci*, 101:509–512.
- Hseu, Z.Y., Chi Tsai, C., and Chen Z.S. 2004. Digestion Methods for Total Heavy Metals in Sediments and Soils. *Bioresource Tecology*. 95:53-59.
- Hicsonmez, U., Ozdemir, C., Ozdenmir, A., Cam, S., Erees, F.S. 2012. Major-minor element analysis in some plant seeds consumed as feed in Turkey. *Natural Science*. 4(5): 298-303.
- Hooda, P. 2010. *Trace Element In Soil*. John Wiley & Sons. United Kingdom.
- Huang, P.T., Patel, M., Santagata, M.C., and Bobet, A. 2009. Classification of Organik Soils. FHWA/IN/JTRP-2008/2. School of Civil Engineering Purdue University. Amerika Serikat.
- Irawanto, R., Hendrian, R., dan Mangkoedihardjo, S. 2015. Konsentrasi Logam Berat (Pb dan Cd) pada Bagian Tumbuhan Akuatik *Acanthus ilicifolius* (Jeruju). *Seminar Nasional Konservasi dan Pemanfaatan Sumber Daya Alam*.
- Jovita, D. 2018. Analisis Unsur Makro (K, Ca, Mg) Mikro (Fe, Zn, Cu) Pada Lahan Pertanian Dengan Metode *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrofotometry* (ICP-OES). *Skripsi*. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
- Kealey, D dan Haines, P.J. 2002. *Analytical Chemistry*. BIOS Scientific Publishers Ltd. London.
- Kasiran. 2008. Konservasi Lahan Melalui Penerapan Teknologi Budidaya Lorong (*Alley Cropping*) Di Daerah Transmigrasi Kuro Tidur. Bengkulu. *J. Tek. Ling.*, 2 (9): 205-210.
- Kochian, V.L. 1991. Mechanisms of Micronutrient Uptake and Translocation in Plant.
- Kruszewski, B., Obieziriski, M.W., dan Kowalska, J. 2017. Nickel Cadmuim and Lead In Raw Cocoa Processed Chocolate Mass Materials

From Three Different Manufaktur. *Journal of Food Composition and Analysis*. Manuscript.

- Khusrizal, Basyaruddin, Mulyanto, B., Rauf, A. 2012. Karakteristik Mineralogi Tanah Pesisir Pantai Aceh Utara yang Terpengaruh Tsunami. *Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik*. 14(1) : 12-21. ISSN : 1411 – 0903.
- Kumpiene, J., Lagerkvist A., Naurice, C. 2008. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in Soil Using Amendements—A Review. *Waste Manage*. 28:215–225.
- Laine, M.D., Trebissou, J., Eec, L., Ed, S. 2015. Evaluation Of Level Of Mineral and Trace Elements of Cocoa (*Theobroma Cacao L*) in Cote D'ivoire, *Academia Journal of Agricultural Research*. 3(11): 321-326.
- Maulidiyah, Halimatussadiyah, Susanti, F., Nurdin, M., Ansarrullah. 2014. Isolasi Pekpin Dari Kulit Buah Kakao (*Theobroma Cacao L.*) Dan Uji Daya Serapnya Terhadap Logam Tembaga dan Logam Seng. *Jurnal Agroteknos*. 4(2):113-119.
- Mastuti, R. 2016. *Nutrisi Mineral Tumbuhan*. FMIPA Universitas Brawijaya.
- Ma'ruf, A., 2018, Karakteristik Lahan Pesisir dan Pengolahannya Untuk Pertanian, *Review*, Universitas Asahan, Sumatera Utara.
- McBride, M., Sauvé, S., Hendershot, W. 1997. Solubility Control of Cu, Zn, Cd and Pb in Contaminated Soils. *Eurasian J. Soil Sci*. 48:337–346.
- Mellis, E.V., Cruz, M.C.P., dan Casagrande, J.C. 2004. Nickel Adsorption By Soil In Relation to pH Organik Matter and Iron Oxides. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz)*. 61(2):190-195.
- Mench, M., Vangronsveld, J., Didier, V., dan Clijster, H. 1994. Evaluation of Metal Mobility. Plant Availability and Immobilization by Chemical Agents in a Limed-silty Soil. *Environ. Pollut*. 86:279-286.
- Muktar, R., Wahyudi, H., Hamonangan, E., Lahtiani, S., Santoo, M., Lestiani, D.D., Kurniawati, S. 2013. Kandungan Logam Berat Dalam Udara Ambien Pada Beberapa Kota Di Indonesia. *Ecolab*. 7(2):49-108.

- Munarso, S.J., Miskiyaha, dan Thamrinb, M. 2016. Pengaruh Penanganan Pascapanen Terhadap Mutu Dan Keamanan Pangan Biji Kakao. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*. 1(11): 1-8.
- Naibaho, J., Nelvia, dan Amri, A.I. 2017. Pemberian Kompos Kulit Buah Kakao Pada Medium Ultisol Untuk Pertumbuhan Bibit Kakao (*Theobroma cacao L*). *Jom Faperta*. 4(2):1-10.
- Okalebo, J.R, Gathua, K.W, and Woomer, P.L. 2002. *Laboratory Methods of: Soil and Plant Analysis: A Working Manual*. Sarred, Africa.
- Oller, A.R., Costa, M., Oberdrster, G. 1997. Carcinogenicity Assessment of Selected Nickel Compounds. *Toxicol. Appl. Pharmacol*. 143(1):152-166.
- Pendias, K.A., dan Pendias, H. 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press. London New York Washington, D.C.
- Pendias, K.A. 2011. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press. London New York Washington. D.C.
- Pendias, K.A., dan Mukherjee, A.B. 2007. *Trace Elements from Soil to Human and Plants*. Springer. Berlin.
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. 2016. Outlook *Kakao Komoditas Pertanian Subsektor Perkebunan*. Kementerian Pertanian. ISSN: 1907-1507.
- Pradnyana. 2017. Ketersediaan Hara Mikro Fe, Mn, Cu, dan Zn Pada Ultisol Jasinga yang Diberi Perlakuan Kapur, Kompos, Arang, dan Fosfat Alam, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. *Skripsi*. Bogor.
- Prasetyo, A., dan Nasronudin. 2015. Mikronutrient Therapy For Sepsis. *Indonesian Journal Of Tropical and Infectious Disease*. 5 (5): 119-123.
- Qamariah, N., dan Yanti, R., Uji Kuantitatif Kadar Zat Besi Dalam Tumbuhan Kelakai dan Produk Olahannya. 2018. *Jurnal Surya Medika*. 3(2): 32-40.
- Republik Indonesia. 2013. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 75 Tahun 2013. Sekretariat Negara Jakarta.

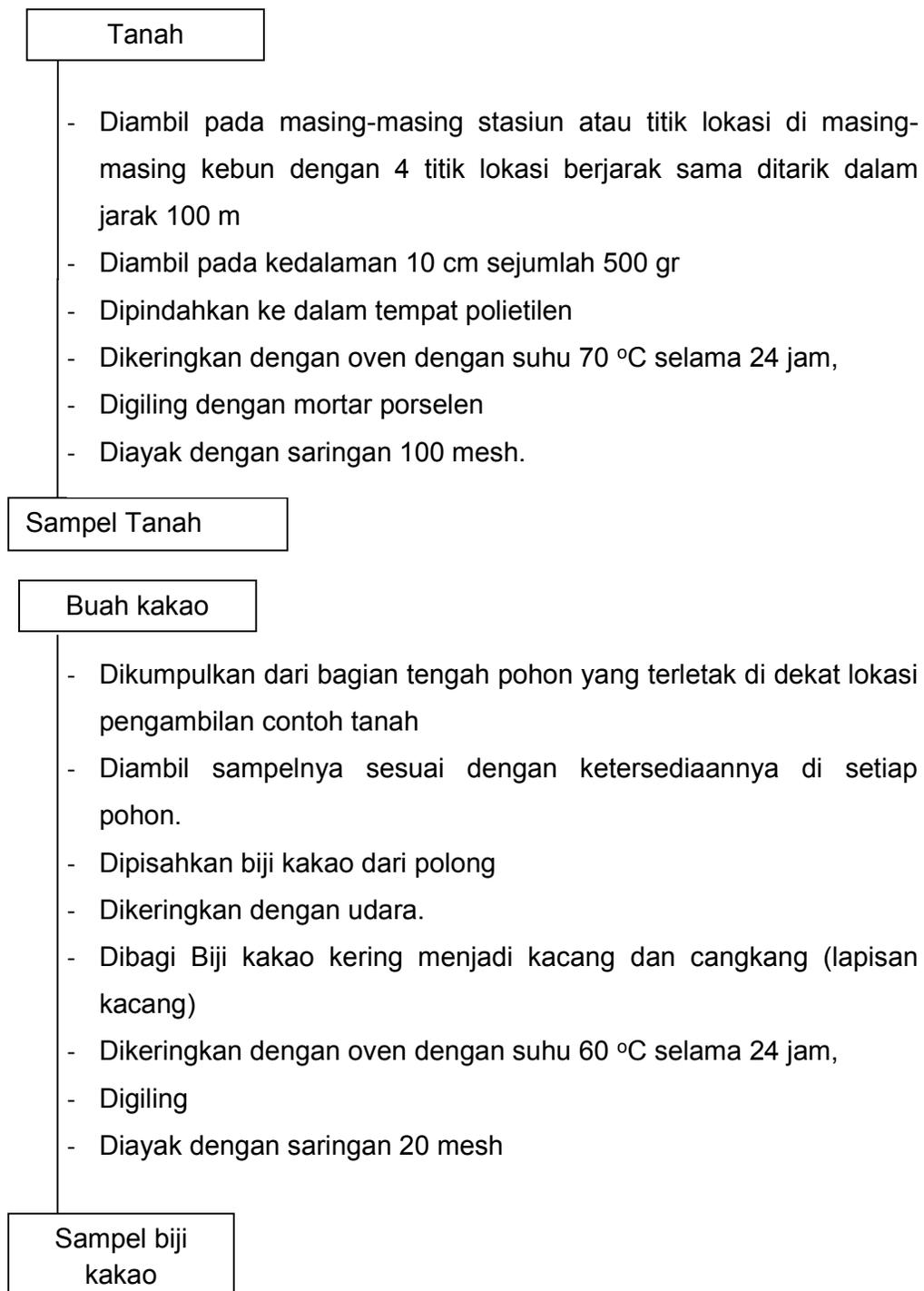
- Ristanti, E.Y., Suprapti, dan Ramlah, S. 2016. Kandungan Logam Berat Pada Biji Kakao Asal Sulawesi Barat dan Tenggara. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*. 11(2): 67-73.
- Rosmarkam, A. dan Yuwono, N.T. 2002. *Ilmu Kesuburan Tanah*. Kanisius. Yogyakarta. ISBN 979-21-0468-2.
- Rout, G.R, Sahoo, S. 2015. Role Of Iron In Plant Growth and Metabolism. *Reviews in Agricultural Science*. 3:1-14.
- Rucher, R. 2009. *Nutritional Properties Of Cocoa*. John Wiley & Sons. Inc, USA.
- Safuan, L.A., Kandari, A.M., dan Natsir, M. 2013. Evaluasi Kesesuaian Lahan Tanaman Kakao (*Theobroma cacao*.) Berdasarkan Analisis Data Iklim Menggunakan Informasi Geografi. *Jurnal Arroteknos*. 2(3): 80-85.
- Sakya, A.T. 2016. Peningkatan Ketersediaan Nutrisi Mikro Pada Tanaman: Upaya Mengurangi Malnutrisi Pada Manusia. *Caraka Tani-Journal of Sustainable Agriculture*. 31(2): 118-128.
- Sager, M. 2012. Chocolate and Cocoa Products as A Source of Essential Elements in Nutrition. *J Nutr Food Sci*. 2(1): 2-10.
- Sauchelli, V. 1969. *Trace Elements in Agriculture*. Van Nostrand Reinhold Company. New York.
- Senwo, Z.N., Tazisong, I.A. 2004. Metal Contents in Soils of Alabama, *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. 35:2837-2848.
- Seregiiz, I.V., Kozhevnikova, A.D. 2006. Physiological Role of Nickel and Its Toxic Effects On Higher Plants. *Russ. J. Plant Physiol*. 53(2): 257-277.
- Sillanpaa, M. 1982. *Micronutrient and The Nutrient Status Of Soils*. Food and Agriculture Organization Of The United nations, Rome.
- Simic J. 2015. Concentration Of Trace And Major Elements In Mountainous Grasslands Of Bosnia And Herzegovina In Relation To Soil Properties And Plant Species. *Thesis*. Department of Environmental Sciences (IMV) Faculty of Environmental Science and Technology Norwegian University of Life Sciences (NMBU).
- Singh, R., Singh, D.P., Narendra, K., Bhargava, S.K., dan Barman, S.C. 2010. Accumulation and Translocation of Heavy Metals in Soil and

- Plants From Fly Ash Contaminated Area. *Journal of Environmental Biology*. 31:421-430.
- Siregar, Tumpal dan Slamet, R. 1898. *Budidaya, Pengolahan dan Pemasaran Cokelat*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Skalnaya, M.G., dan Skalny, A. V. 2018. *Essential Trace Elements in Human Health: A Physician's*. Publishing House of Tomsk State University. Russia.
- Soetan K.O., Olaiya C.O., Oyewole O.E. 2010. The Importance of Mineral Elements for Humans Domestic Animals and Plants: A Review. *African Journal of Food Science*. 4(5): 200-222.
- Susanto. 1994. *Tanaman Kakao Budidaya dan Pengolahan Hasil*. Kanisius, Yogyakarta.
- Tait, S.F., dan Hurrell, R.F. 1996. Bioavailability of Minerals and Trace Elements. *Nutrition Research Reviews*. 9: 295-324.
- Tim Tanaman Perkebunan Besar. 2005. Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis Kakao di Indonesia. *Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. Departemen Pertanian, 27 hal.
- Watania, T., Mayulu, N., Kawengian, S.E.S. 2016. Hubungan Pengetahuan Gizi Ibu dengan Kecukupan Asupan Energi Anak Usia 1-3 Tahun di Desa Mopusi Kecamatan Lolayan Kabupaten Bolaang Mongondow Sulawesi Utara. *Jurnal e-Biomedik (eBm)*. 4(2):1-7.
- Wahyudi, T., Pujiyanto dan Misnawi. 2015. *KAKAO: Sejarah, Botani, Proses Produksi, Pengolahan, dan Perdagangan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Wahyudi, T., Panggabean, T.R. dan Pujiyanto. 2008. *Panduan Lengkap Kakao: Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Welch, R.M., dan Shuman, L. 2013. Micronutrient Nutrition of Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 14 (1): 49-82.
- WHO. 1996. *Trace Elements in Human Nutrition and Health*. Macmillary/ceuterick. Ganeva.

- WHO. 2004. *Vitamin and Mineral Requirements in Human Nutrition Second Edition*. Minimum Graphics, Hongkong
- Widiastuti, P.A., Kushartanti, B.M.W., dan Kandarina, B.J.I. 2009. Pola Makan dan Kebugaran Jasmani Atlet Pencak Silat selama Pelatihan Daerah Pekan Olahraga Nasional XVII Provinsi Bali Tahun 2008. *Jurnal Gizi Klinik Indonesia*. 6(1):13-20.
- Winarno, F.G. 1992. *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., and Ma, L.Q. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site, *Science of the Total Environment*. 368:456-464.
- Yusuf, S. 2014. Aplikasi Teknik AAN di Reaktor RSG-GAS Pada Penentuan Unsur Esensial dan Toksik Di Dalam Ikan dan Pakan Ikan. *J. Tek. Reaktor. Nukl.* 16 (1) : 44-55.
- Yusriana dan Jaya, R. 2016. Karakteristik Mutu Spesifik Kakao Aceh: Fisik, Kimia dan Sensori. *Seminar Hasil Riset dan Standarisasi Industri*. Balai Aceh.

Lampiran 1. Bagan Kerja

1. Pengambilan dan preparasi Sampel Tanah dan buah kakao (*Theobroma cacao* L)



Destruksi Biji Kakao

Sampel

- Ditimbang 10 g sampel kedalam cawan silica
- dipanaskan di atas api langsung dengan hati-hati sampai sampel mengarang (suhu pemanasan tidak boleh terlalu tinggi sehingga terjadi pemijaran
- dipindahkan kedalam tanur untuk pengabuan pada suhu 500 °C selama 2 jam
- Dikeluarkan cawan
- Didinginkan, kemudian
- Ditambahkan 1 mL sampai dengan 2 mL air bebas mineral dan 3 mL asam nitrat
- Dipanaskan diatas pengangas air dan setelah kering, panaskan di atas nyala api dengan hati-hati pada suhu rendah sehingga semua nitrat hilang.
- Dimasukkan kembali ke dalam tanur dengan suhu 525 °C selama 1 jam.
- Dinginkan dan larutkan abu yang diperoleh dengan 10 mL asam klorida sambil
- dipanaskan dan dipindahkan ke dalam labu takar 100 mL dengan air bebas mineral dan tetapkan volumenya.
- Ditentukan Kandungan trace element pada masing-masing sampel menggunakan Inductively Coupled Plasma

Perhitungan dan kesimpulan

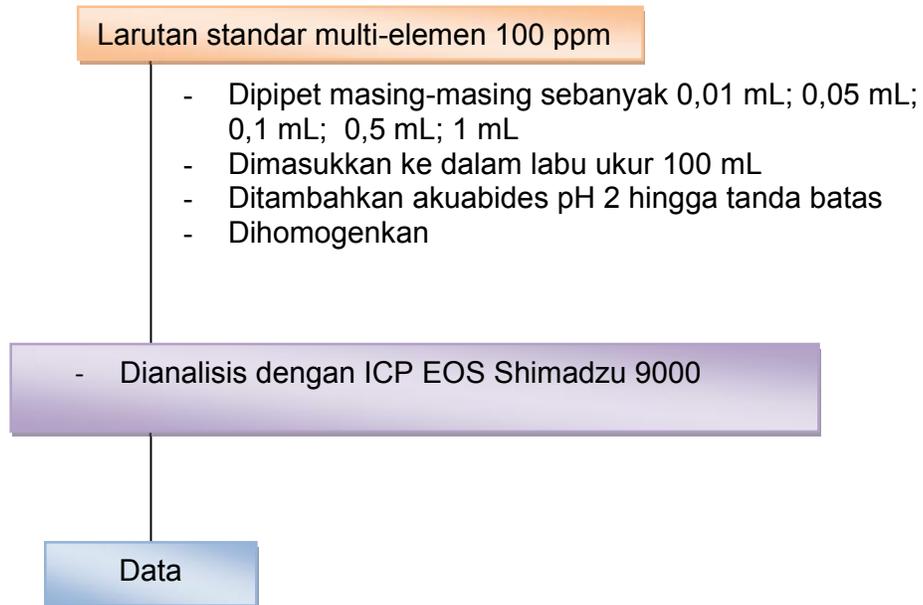
Destruksi Sampel Tanah

Sampel Tanah

- Ditimbang 4 g sampel dalam cawan porselen
- Dimasukkan dalam tanur pada 200 - 250 °C selama 30 menit, dan ditanur kembali selama 4 jam pada suhu 480 °C.
- Dikeluarkan cawan dan didinginkan.
- Ditambahkan 8 mL HNO₃ 5 M dan uapkan sampai kering pada penangas
- Didinginkan dan dipanaskan hingga 400 C selama 15 menit, selanjutnya
- Didinginkan dan dibasahi dengan 16 tetes air suling).
- Ditambahkan 8 mL HCl pekat dan sampel diuapkan sampai kering,
- Ditambahkan 20 mL HCl 2 M dan diaduk.
- Disaring dengan kertas saring Whatman No. 42, kemudian dipindahkan ke labu ukur 100 mL dengan menambahkan air suling.
- Ditentukan Kandungan trace element pada masing-masing sampel menggunakan Inductively Coupled Plasma

Hasil

2. Pembuatan Deret Standar Larutan



Catatan: dikerjakan blanko

Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian

A. Kebun Transmigrasi



Pohon Kakao (*Theobroma cacao L.*)



Tanah Transmigrasi



Buah kakao (*Theobroma cacao L.*)



Tanah daerah Transmigrasi

B. Daerah perkebunan



Pohon Kakao (*Theobroma cacao L.*)



Buah kakao (*Theobroma cacao L.*)



Tanah daerah perkebunan

C. Preparasi Sampel



Pengeringan sampel biji kakao



Pengeringan sampel tanah



Biji kakao kering



Biji kakao yang sudah kupas



Bubuk kakao

D. Proses Destruksi Sampel Biji Kakao



Pengarangan sampel



Sampel yg sdh diabuhkan



Penambahan HCl



Sampel di atas penangas air



Proses penyaringan



Larutan

E. Proses Destruksi Sampel Tanah

Pengeringan setelah Penambahan HNO_3 

Pengabuan Sampel



Larutan



Proses pengeringan sampel

Lampiran 3. Data Analisis

A. Data Hasil Analisis Daerah Perkebunan dan Daerah Transmigrasi

Tabel 1. Data hasil analisis daerah perkebunan dan daerah transmigrasi

Mineral	Perkebunan		Transmigrasi	
	Tanah (mg/100g)	Kakao (mg/100 g)	Tanah (mg/100g)	Kakao (mg/100 g)
Fe	1056,050	2,022	1505,850	2,684
Cu	3,816	3,009	3,394	2,202
Mn	53,350	1,571	66,273	2,601
Ni	22,201	1,478	179,160	2,998
Zn	8,607	5,829	1,580	3,830

Tabel 2. Hasil analisis sampel tanah dalam mg/100 g

Mineral	Tanah (mg/100g)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
Cu	5,075	4,643	2,243	4,363	2,758	3,816
Fe	1115,000	1118,250	1126,500	952,250	968,250	1056,050
Mn	59,225	68,625	36,975	50,500	51,425	53,350
Ni	23,513	22,208	20,648	23,968	20,668	22,201
Zn	9,555	8,730	7,460	8,850	8,440	8,607

Tabel 3. Hasil analisis biji kakao dalam mg/100 g

Mineral	Kakao (mg/100g)					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
Cu	1,253	2,396	3,267	3,666	4,463	3,009
Fe	0,766	1,563	1,946	3,629	2,206	2,022
Mn	0,659	1,253	1,963	1,745	2,236	1,571
Ni	1,641	1,103	1,378	1,339	1,928	1,478
Zn	5,849	4,721	4,007	7,208	7,359	5,829

Tabel 4. Translokasi faktor daerah perkebunan

Mineral	Translokasi Faktor					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
Cu	0,247	0,516	1,457	0,840	1,618	0,7885
Fe	0,001	0,001	0,002	0,004	0,002	0,002
Mn	0,011	0,018	0,053	0,035	0,043	0,029
Ni	0,070	0,050	0,067	0,056	0,093	0,067
Zn	0,612	0,541	0,537	0,814	0,872	0,675

B. Data Hasil Analisis Daerah Transmigrasi

Tabel 5. Hasil analisis sampel tanah dalam mg/100g

Mineral	Tanah (mg/100g)					rata-rata
	1	2	3	4	5	
Cu	6,230	2,160	3,865	3,060	1,653	3,394
Fe	1654,250	1643,500	1450,250	1103,000	1678,250	1505,850
Mn	97,325	39,850	32,700	23,815	137,675	66,273
Ni	340,000	141,850	106,350	54,100	253,500	179,160
Zn	3,190	0,478	4,498	0,700	-0,968	1,580

Tabel 6. Hasil analisis biji kakao tanah dalam mg/100 g

Mineral	Kakao (mg/100g)					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
Cu	1,896	2,290	1,304	3,285	2,237	2,202
Fe	2,856	3,144	1,240	3,265	2,913	2,684
Mn	1,770	4,717	1,171	2,733	2,612	2,601
Ni	2,549	1,747	3,497	3,753	3,446	2,998
Zn	4,831	1,708	4,328	4,292	3,991	3,830

Tabel 7. Translokasi faktor daerah transmigrasi

Mineral	Translokasi Faktor					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
Cu	0,304	1,060	0,337	1,074	1,354	0,649
Fe	0,002	0,002	0,001	0,003	0,002	0,0018
Mn	0,018	0,118	0,036	0,115	0,019	0,039
Ni	0,007	0,012	0,033	0,069	0,014	0,027
Zn	1,514	3,577	0,962	6,131	-4,125	1,612

C. Data pH

Tabel 8. Data nilai pH tanah pada daerah perkebunan dan daerah transmigrasi

Lokasi	pH					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
Perkebunan	6,5	6,4	6,5	6,5	6,4	6,5
transmigrasi	5,8	5,8	5,9	5,8	5,9	5,8

D. Data Penimbangan

Tabel 9. Bobot penimbangan daerah perkebunan

Titik Lokasi	Sampel	Massa Sampel	Volume Sampel (mL)
		(gram)	
1	Tanah	4,0003	100
	Biji Kakao	10,0007	100
2	Tanah	4,0005	100
	Biji Kakao	10,0009	100
3	Tanah	4,0002	100
	Biji Kakao	10,0005	100
4	Tanah	4,0008	100
	Biji Kakao	10,0004	100
5	Tanah	4,0009	100
	Biji Kakao	10,0004	100

Tabel 10. Bobot penimbangan daerah transmigrasi

Titik Lokasi	Sampel	Massa Sampel (gram)	Volume Sampel (mL)
1	Tanah	4,0006	100
	Biji Kakao	10,0003	100
2	Tanah	4,0023	100
	Biji Kakao	10,0009	100
3	Tanah	4,0062	100
	Biji Kakao	10,0002	100
4	Tanah	4,0006	100
	Biji Kakao	10,0008	100
5	Tanah	4,0003	100
	Biji Kakao	10,0005	100

Lampiran 4. Perhitungan

1. Pembuatan HNO₃ 5 M

$$M = \frac{\% \text{ HNO}_3 \times \text{BJ HNO}_3 \times 1000}{M_r \text{ HNO}_3}$$

$$M = \frac{65\% \times 1,39 \text{ g/mL} \times 1000 \text{ mL/L}}{63 \text{ g/mol}}$$

$$M = 14,34 \text{ M}$$

$$V_1 M_1 = V_2 M_2$$

$$V_1 = \frac{V_2 \times M_2}{M_1}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 6 \text{ M}}{14,34 \text{ M}}$$

$$V_1 = 41,84 \text{ mL}$$

2. Perhitungan Konsentrasi Unsur Kelumit Esensial

$$C = \frac{axV}{g}$$

Keterangan:

C = konsentrasi sebenarnya (mg/kg)

a = konsentrasi dari hasil analisis ICP (mg/L)

V = volume sampel (L)

g = massa sampel (kg)

a. Tanah

$$C = \frac{2,030 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 100 \text{ mL}}{4,0003 \text{ g}}$$

$$= 50,711 \text{ mg/kg}$$

$$= \frac{50,711 \text{ mg/kg}}{10}$$

$$= 5,071 \text{ mg/100 g}$$

b. Biji Kakao

$$C = \frac{1,253 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 100 \text{ mL}}{10,0007 \text{ g}}$$

$$= 12,529 \text{ mg/kg}$$

$$= \frac{12,529 \text{ mg/kg}}{10}$$

$$= 1,252 \text{ mg/100 g}$$

3. Perhitungan Faktor Translokasi

$TF = \frac{\text{Konsentrasi logam di bagian tumbuhan}}{\text{Konsentrasi logam di tanah}}$
--

$$TF = \frac{1,253 \text{ mg/100 g}}{5,057 \text{ mg/100 g}}$$

$$= 0,248$$

Lampiran 5. Data analisis Sampel

Sampel (D)	Analyte	Mean
vtd 3	As 133,879	[0,1] mg/L
	Cd 228,802	[0,1] mg/L
	Co 228,818	[0,1] mg/L
	Cu 327,383	[0,1] mg/L
	Fe 238,204	[0,1] mg/L
	Mn 267,810	[0,1] mg/L
	Mo 202,021	[0,1] mg/L
	Ni 231,804	[0,1] mg/L
	Pb 220,343	[0,1] mg/L
	Zn 208,200	[0,1] mg/L
vtd 4	As 133,879	[0,4] mg/L
	Cd 228,802	[0,4] mg/L
	Co 228,818	[0,4] mg/L
	Cu 327,383	[0,4] mg/L
	Fe 238,204	[0,4] mg/L
	Mn 267,810	[0,4] mg/L
	Mo 202,021	[0,4] mg/L
	Ni 231,804	[0,4] mg/L
	Pb 220,343	[0,4] mg/L
	Zn 208,200	[0,4] mg/L
vtd 5	As 133,879	[1] mg/L
	Cd 228,802	[1] mg/L
	Co 228,818	[1] mg/L
	Cu 327,383	[1] mg/L
	Fe 238,204	[1] mg/L
	Mn 267,810	[1] mg/L
	Mo 202,021	[1] mg/L
	Ni 231,804	[1] mg/L
	Pb 220,343	[1] mg/L
	Zn 208,200	[1] mg/L

SampleID	Analyte	Mean
AK 1 KAKAO		
	As 100,070	0,000 mg/L
	Cd 220,002	-0,017 mg/L
	Co 220,010	-0,010 mg/L
	Cu 027,000	0,027 mg/L
	Fe 200,204	0,007 mg/L
	Mn 207,010	0,047 mg/L
	Mo 200,011	0,410 mg/L
	Ni 201,004	-0,062 mg/L
	Pb 220,040	-0,067 mg/L
	Zn 200,200	-0,411 mg/L
AK 2 KAKAO		
	As 100,070	0,000 mg/L
	Cd 220,002	0,041 mg/L
	Co 220,010	-0,007 mg/L
	Cu 027,000	1,260 mg/L
	Fe 200,204	0,700 mg/L
	Mn 207,010	0,660 mg/L
	Mo 200,011	-1,104 mg/L
	Ni 201,004	1,041 mg/L
	Pb 220,040	1,717 mg/L
	Zn 200,200	0,040 mg/L
AK 3 KAKAO		
	As 100,070	0,000 mg/L
	Cd 220,002	0,000 mg/L
	Co 220,010	0,004 mg/L
	Cu 027,000	2,000 mg/L
	Fe 200,204	1,000 mg/L
	Mn 207,010	1000 mg/L
	Mo 200,011	-1,044 mg/L
	Ni 201,004	1,100 mg/L
	Pb 220,040	1,000 mg/L
	Zn 200,200	4,701 mg/L

SampleID	Analyte	Mass
AK 4 KAKAO		
	As 103,079	0,000 mg/L
	Cd 325,302	0,029 mg/L
	Co 325,018	-0,004 mg/L
	Cu 327,593	3,267 mg/L
	Fe 233,204	1,848 mg/L
	Mn 267,810	1,983 mg/L
	Mo 202,031	-1,271 mg/L
	Ni 221,604	1,573 mg/L
	Pb 220,343	1,671 mg/L
	Zn 206,200	4,057 mg/L
AK 6 KAKAO		
	As 103,079	0,000 mg/L
	Cd 325,302	0,037 mg/L
	Co 325,018	-0,018 mg/L
	Cu 327,593	3,688 mg/L
	Fe 233,204	3,629 mg/L
	Mn 267,810	1,746 mg/L
	Mo 202,031	-2,380 mg/L
	Ni 221,604	1,529 mg/L
	Pb 220,343	1,088 mg/L
	Zn 206,200	7,208 mg/L
AK 8 KAKAO		
	As 103,079	0,000 mg/L
	Cd 325,302	0,086 mg/L
	Co 325,018	0,054 mg/L
	Cu 327,593	4,483 mg/L
	Fe 233,204	2,208 mg/L
	Mn 267,810	2258 mg/L
	Mo 202,031	-4,272 mg/L
	Ni 221,604	1,923 mg/L
	Pb 220,343	2,101 mg/L
	Zn 206,200	7,369 mg/L

SampelID	Analisa	Mean
AK 1 TANAH		
	As 133,879	0,000 mg/L
	Cd 223,802	-0,008 mg/L
	Co 223,819	0,023 mg/L
	Cu 227,390	0,149 mg/L
	Fe 228,204	-0,001 mg/L
	Mn 267,410	0,120 mg/L
	Mo 202,001	-8,371 mg/L
	Ni 201,804	4,286 mg/L
	Pb 220,363	1,884 mg/L
	Zn 208,200	2,477 mg/L
AK 2 TANAH		
	As 133,879	0,000 mg/L
	Cd 223,802	-0,008 mg/L
	Co 223,819	1,624 mg/L
	Cu 227,390	2,020 mg/L
	Fe 228,204	446,0 mg/L
	Mn 267,410	23,88 mg/L
	Mo 202,001	-19,83 mg/L
	Ni 201,804	9,406 mg/L
	Pb 220,363	0,282 mg/L
	Zn 208,200	0,822 mg/L
AK 3 TANAH		
	As 133,879	0,000 mg/L
	Cd 223,802	0,198 mg/L
	Co 223,819	1,682 mg/L
	Cu 227,390	1,867 mg/L
	Fe 228,204	447,3 mg/L
	Mn 267,410	27,46 mg/L
	Mo 202,001	-14,74 mg/L
	Ni 201,804	3,883 mg/L
	Pb 220,363	0,240 mg/L
	Zn 208,200	0,482 mg/L

SampelID	Analyte	Mean
AK 4 TANAH		
	As 133,879	0,000 mg/L
	Cd 223,802	-0,113 mg/L
	Co 223,818	1,583 mg/L
	Cu 327,393	0,397 mg/L
	Fe 233,204	460,9 mg/L
	Mn 267,810	14,79 mg/L
	Mo 202,001	-16,00 mg/L
	Ni 231,804	3,268 mg/L
	Pb 220,363	3,463 mg/L
	Zn 208,300	2,884 mg/L
AK 5 TANAH		
	As 133,879	0,000 mg/L
	Cd 223,802	-0,261 mg/L
	Co 223,818	1,713 mg/L
	Cu 327,393	1,746 mg/L
	Fe 233,204	380,9 mg/L
	Mn 267,810	20,20 mg/L
	Mo 202,001	-17,22 mg/L
	Ni 231,804	9,637 mg/L
	Pb 220,363	4,009 mg/L
	Zn 208,300	3,640 mg/L
AK 6 TANAH		
	As 133,879	0,000 mg/L
	Cd 223,802	-0,214 mg/L
	Co 223,818	1,482 mg/L
	Cu 327,393	1,103 mg/L
	Fe 233,204	337,3 mg/L
	Mn 267,810	20,67 mg/L
	Mo 202,001	-14,64 mg/L
	Ni 231,804	3,287 mg/L
	Pb 220,363	3,037 mg/L
	Zn 208,300	3,376 mg/L

Sample	Analyte	Mean
TR 1 KAKAO		
	As 188,878	0,000 mg/L
	Cd 228,802	-0,021 mg/L
	Co 228,818	0,020 mg/L
	Cu 327,380	0,628 mg/L
	Fe 238,204	10,67 mg/L
	Mn 267,810	0,326 mg/L
	Mo 202,001	-0,716 mg/L
	Ni 231,804	0,084 mg/L
	Pb 220,363	0,448 mg/L
	Zn 208,200	0,646 mg/L
TR 2 KAKAO		
	As 188,878	0,000 mg/L
	Cd 228,802	-0,020 mg/L
	Co 228,818	0,081 mg/L
	Cu 327,380	1,888 mg/L
	Fe 238,204	2,868 mg/L
	Mn 267,810	1,770 mg/L
	Mo 202,001	0,741 mg/L
	Ni 231,804	2,648 mg/L
	Pb 220,363	0,784 mg/L
	Zn 208,200	4,831 mg/L
TR 3 KAKAO		
	As 188,878	0,000 mg/L
	Cd 228,802	-0,018 mg/L
	Co 228,818	0,082 mg/L
	Cu 327,380	2,280 mg/L
	Fe 238,204	3,144 mg/L
	Mn 267,810	4,717 mg/L
	Mo 202,001	0,232 mg/L
	Ni 231,804	1,747 mg/L
	Pb 220,363	0,810 mg/L
	Zn 208,200	1,708 mg/L

SampleID	Analyte	Mean
TR 4 KAKAO		

As 101,979	0,000 mg/L
Cd 228,802	-0,018 mg/L
Co 228,818	0,068 mg/L
Cu 127,365	1,354 mg/L
Fe 255,204	1,240 mg/L
Mn 267,810	1,171 mg/L
Mo 202,021	-1,478 mg/L
Ni 221,804	2,487 mg/L
Pb 220,561	1,693 mg/L
Zn 298,200	4,828 mg/L

TR 5 KAKAO		
-------------------	--	--

As 101,979	0,000 mg/L
Cd 228,802	-0,018 mg/L
Co 228,818	0,068 mg/L
Cu 127,365	2,256 mg/L
Fe 255,204	2,286 mg/L
Mn 267,810	2,723 mg/L
Mo 202,021	-1,312 mg/L
Ni 221,804	2,763 mg/L
Pb 220,561	1,656 mg/L
Zn 298,200	4,292 mg/L

TR 6 KAKAO		
-------------------	--	--

As 101,979	0,000 mg/L
Cd 228,802	-0,022 mg/L
Co 228,818	0,023 mg/L
Cu 127,365	2,217 mg/L
Fe 255,204	2,813 mg/L
Mn 267,810	2,812 mg/L
Mo 202,021	-1,888 mg/L
Ni 221,804	2,448 mg/L
Pb 220,561	0,823 mg/L
Zn 298,200	2,991 mg/L

SampleID	Analyte	Mean
TR 1 TANAH		
	As 188,878	0,000 mg/L
	Cd 228,882	-0,674 mg/L
	Co 228,818	13,13 mg/L
	Cu 227,388	2,173 mg/L
	Fe 228,204	808,6 mg/L
	Mn 267,810	30,47 mg/L
	Mo 202,881	-63,36 mg/L
	Ni 221,804	106,6 mg/L
	Pb 220,263	4,088 mg/L
	Zn 208,208	1,488 mg/L
TR 2 TANAH		
	As 188,878	0,000 mg/L
	Cd 228,882	-0,688 mg/L
	Co 228,818	16,08 mg/L
	Cu 227,388	2,482 mg/L
	Fe 228,204	881,7 mg/L
	Mn 267,810	33,83 mg/L
	Mo 202,881	-66,72 mg/L
	Ni 221,804	108,0 mg/L
	Pb 220,263	4,723 mg/L
	Zn 208,208	1,278 mg/L
TR 3 TANAH		
	As 188,878	0,000 mg/L
	Cd 228,882	-0,382 mg/L
	Co 228,818	4,188 mg/L
	Cu 227,388	0,884 mg/L
	Fe 228,204	867,4 mg/L
	Mn 267,810	16,84 mg/L
	Mo 202,881	-12,64 mg/L
	Ni 221,804	68,74 mg/L
	Pb 220,263	1,628 mg/L
	Zn 208,208	0,181 mg/L

SampleID	Analyte	Mean
TR 4 TANAH		
	As 188,878	0,000 mg/L
	Cd 228,802	-0,263 mg/L
	Co 228,818	2,683 mg/L
	Cu 327,380	1,648 mg/L
	Fe 238,204	680,1 mg/L
	Mn 267,810	10,03 mg/L
	Mo 202,001	-14,67 mg/L
	Ni 231,804	42,64 mg/L
	Pb 220,163	1,810 mg/L
	Zn 208,200	1,789 mg/L

TR 5 TANAH		
	As 188,878	0,000 mg/L
	Cd 228,802	-0,868 mg/L
	Co 228,818	10,31 mg/L
	Cu 327,380	1,224 mg/L
	Fe 238,204	441,2 mg/L
	Mn 267,810	8,628 mg/L
	Mo 202,001	-37,61 mg/L
	Ni 231,804	21,84 mg/L
	Pb 220,163	3,067 mg/L
	Zn 208,200	0,280 mg/L

TR 6 TANAH		
	As 188,878	0,000 mg/L
	Cd 228,802	-0,634 mg/L
	Co 228,818	18,33 mg/L
	Cu 327,380	0,881 mg/L
	Fe 238,204	871,3 mg/L
	Mn 267,810	66,07 mg/L
	Mo 202,001	-21,42 mg/L
	Ni 231,804	101,4 mg/L
	Pb 220,163	1,623 mg/L
	Zn 208,200	-0,367 mg/L