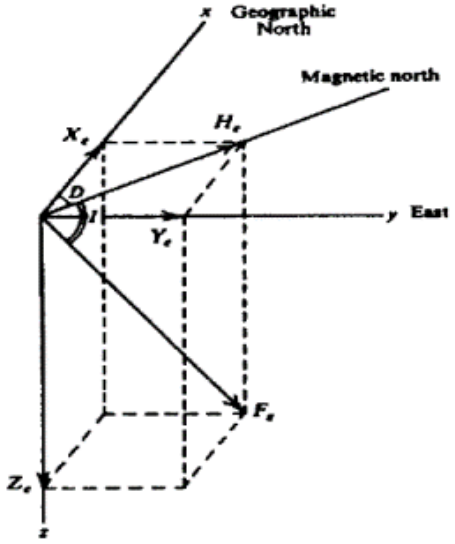
BAB II
TEORI DASAR

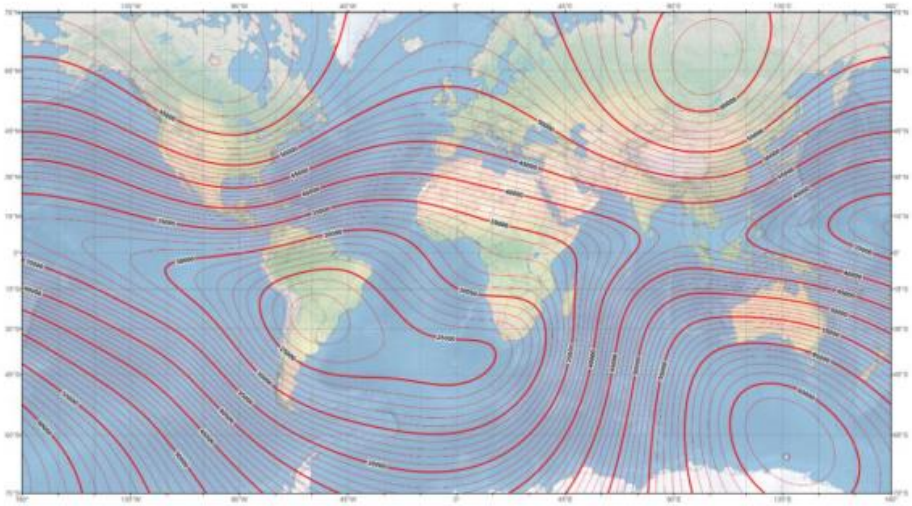
2.1 Medan Magnet Bumi

Komponen medan magnet bumi biasa disebut dengan elemen medan magnet bumi mempunyai tiga arah utama dan dinyatakan dalam koordinat kartesian (Gambar 2.4), yaitu komponen arah utara X, komponen arah timur Y, dan komponen kea arah selatan Z. Isi dari elemen medan magnet bumi adalah deklinasi (D) yaitu sudut utara magnet bumi dengan komponen horizontal yang dihitung dari utara menuju timur (sudut antara utara magnet dan utara geografis), inklinasi (I) yaitu sudut antara medan magnet total dengan bidang horizontal yang dihitung dari horizontal menuju ke bidang vertikal (sudut antara bidang horizontal dan vector medan total), intensitas horizontal (H) addalah magnitudo dari medan magnet total pada arah horizontal, dan medan magnet total (F) adalah magnitudo dari vektor magnet total.

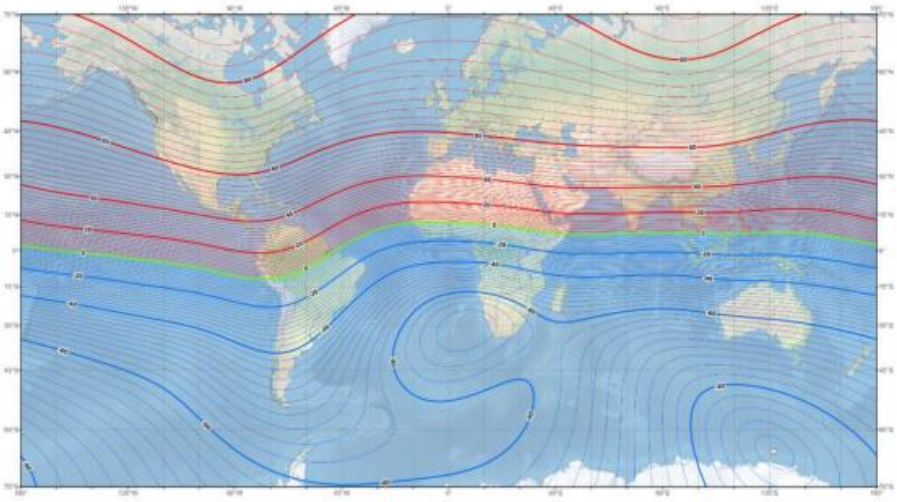
Karena medan magnet utama berubah terhadap waktu, maka untuk menyeragamkan nilai-nilai medan magnet utama dibuat standar nilai yang dikenal dengan IGRF. Nilai IGRF diperbarui setiap 5 tahun sekali. Inklinasi yaitu sudut antara medan magnetik total dengan bidang horizontal yang dihitung dari bidang horizontal menuju bidang vertikal ke bawah. Deklinasi yaitu sudut antara utara magnetik dengan komponen horizontal yang dihitung dari utara menuju timur. Elemen medan magnet bumi dapat dilihat pada gambar 2.2. Model medan magnet dunia dapat dilihat pada gambar 2.3. Medan inklinasi bumi dapat dilihat pada gambar 2.4. Medan deklinasi bumi dapat dilihat pada gambar 2.5.



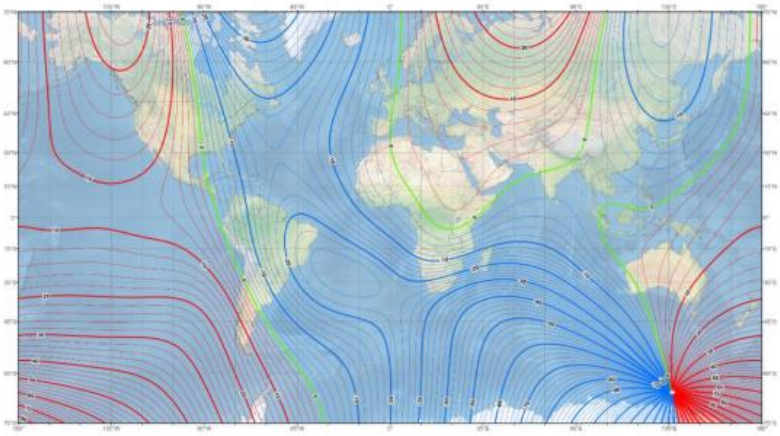
Gambar 2.1 Elemen Medan Magnet Bumi (Telford et al., 2004)



Gambar 2.2 Model Medan Magnet Dunia (NOAA, 2016)



Gambar 2.3 Medan Inklinasi Utama Bumi (NOAA, 2016)



Gambar 2.4 Model Deklinasi Utama Bumi (NOAA,2016)

2.2 Teori Medan Magnet

2.2.1 Medan Magnetik

Charles Augustin de Coulumb pada tahun 1785 menyatakan bahwa gaya magnet berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak antara dua muatan magnetik. Apabila terdapat dua buah kutub magnetik m_1 dan m_2 yang berjarak r, maka akan terjadi gaya Coulumb sebesar:

$$\mathbf{F} = \frac{\boldsymbol{m_1}\, m_2}{\mu_0\, \boldsymbol{r^2}}\,\mathbf{r} \qquad (2.1)$$

Dengan μ_0 adalah permeabilitas medium dalam ruang hampa, tidak berdimensi dan berharga satu (Telford et al., 1976). m_1 dan m_2 muatan kutub, r

adalah jarak kedua muatan kutub, dan **r** adalah vektor satuan dari arah m_1 ke m_2. Gaya Coulumb per satuan muatan m didefinisikan sebagai kuat medan magnet terukur (**H**). Dengan demikian dihasilkan kuat medan magnet pada muatan m_1 yang dapat dinyatakan sebagai,

$$\mathbf{H} = \frac{\boldsymbol{F}}{m_1} = \frac{1}{\mu}\frac{m_1}{r^2}\mathbf{r} \qquad (2.2)$$

Dimana **H** adalah kuat medan magnet terukur.

Jika suatu benda terinduksi oleh medan magnet **H,** maka besar intensitas magnet yang dialami oleh benda tersebut adalah (Reynold, 1995),

$$\mathbf{M} = k\,\mathbf{H} \qquad (2.3)$$

Dimana **M** adalah intensitas magnetisasi dan *k* adalah suseptibilitas magnetik.

Dengan demikian persamaan suseptibilitas magnetik adalah

$$k = \frac{\mathbf{M}}{\mathbf{H}} \qquad (2.4)$$

2.2.2 Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas magnetik adalah suatu kemampuan material untuk termagnetisasi yang ditentukan oleh nilai suseptibilitas kemagnetan *k* pada persamaan 2.3. Faktor yang mempengaruhi nilai suseptibilitas magnet suatu material adalah litologi batuan dan kandungan mineral batuan. Nilai suseptibilitas magnet batuan ditunjukkan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai Suseptibilitas Batuan (Telford et al., 1976)

Jenis	**Kisaran (**x10^{-3}**)**	**Rata-rata (**x10^{-3}**)**
Sedimentary		
Dolomite	0-0,9	0,1
Limestone	0-3	0,3
Sandstone	0-20	0,4
Shale	0,01-15	0,9
Metamorphic		
Amphibolite		0,7
Schist	0,3-3	1,4
Phyllite		1,5

Gneiss	0,1-25	
Quartzite		4
Serpentine	0,1-25	
Slate	0-35	6
Igneous		
Granite	0-50	2,5
Rhyolite	0,2-35	
Dolorite	1-35	17
Augite-syenite	30-40	
Olivine-diabase		25
Diabase	1-160	55
Porphyry	0,3-200	60
Gabbro	1-90	70
Basalts	0,2-175	70
Diorite	0,6-120	85
Pyroxenite		125
Peridotite	90-200	150
Andesite		160

Adanya medan magnet yang berasal dari bumi dapat mengakibatkan terjadinya induksi magnet pada batuan yang memiliki suseptibilitas. Induksi magnet **F** dalam suatu material dipengaruhi oleh medan eksternal $\mathbf{F}_0$ dan magnetisasi material tersebut. Secara umum, persamaannya dapat dituliskan sebagai (Serway dan Jeweet, 2004):

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_0 + \mathbf{F}_\mathbf{m} \qquad (2.5)$$

Dimana $\mathbf{F}_\mathbf{m}$ adalah medan yang dihasilkan oleh material magnet dan dapat didefinisikan sebagai:

$$\mathbf{F}_\mathbf{m} = \mu_0 \mathbf{M} \qquad (2.6)$$

Dimana **M** adalah momen magnet per unit volum dan μ_0 adalah permeabilitas ruang hampa dengan nilai $4\pi x10^{-7}$Wb/A m. Sedangkan medan eksternal $\mathbf{F}_0$ dapat didefinisikan sebagai:

$$\mathbf{F}_0 = \mu_0 \mathbf{H} \quad (2.7)$$

Dimana **H** adalah kuat medan magnet dalam A/m sehingga persamaan 2.5 dan 2.6 disubtitusikan ke dalam persamaan 2.4 dapat dituliskan:

$$\mathbf{F} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) \quad (2.8)$$

Subtitusi persamaan 2.3 ke persamaan 2.7, maka didapatkan persamaan induksi magnet **F** (Telford et al., 2004):

$$\mathbf{F} = \mu_0 (1 + k) \mathbf{H} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H} = \mu \mathbf{H} \quad (2.9)$$

Dimana $\mu_r = (1 + k)$ adalah permeabilitas relatif, *k* adalah suseptibilitas magnet, dan $\mu = \mu_0 \mu_r$ adalah permeabilitas bahan. Di udara nilai dari $\mu_0 = 1$ sehingga persamaan 2.8 menjadi:

$$\mathbf{F} = \mu_r \mathbf{H} \quad (2.10)$$

2.2.3 Anomali Medan Magnet

Anomali medan magnet adalah hasil perhitungan dari medan magnet total dan medan magnet regional atau IGRF. **T** adalah nilai medan magnet total dalam nT dan **F** adalah nilai medan magnet regional dalam nT. Nilai anomali medan magnet dalam nT sebagai $\Delta\mathbf{T} << |\mathbf{T}|$ dan arah **T** sama dengan arah **F**, maka dapat dituliskan (Blakely, 1996):

$$\Delta\mathbf{T} = |\mathbf{T}| - |\mathbf{F}| \quad (2.11)$$

Jika $\Delta\mathbf{F}$ merepresentasikan simpangan dari **F** karena adanya sumber medan magnet luar dalam nT, maka medan magnet total dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\mathbf{T} = \mathbf{F} + \Delta\mathbf{F} \quad (2.12)$$

Untuk mendapatkan nilai anomali medan magnet $\Delta\mathbf{T}$ dari kombinasi persamaan 2.10 dan 2.11 maka persamaannya dapat dituliskan sebagai:

$$\Delta\mathbf{T} = \mathbf{T} - \Delta\mathbf{F} - \mathbf{F} \quad (2.13)$$

Dimana **T** adalah medan magnet total dalam nT, $\Delta\mathbf{F}$ adalah variasi harian dalam nT, **F** adalah IGRF dalam nT.

2.2.4 Variasi Harian

Varisasi harian ΔF adalah representasi gangguan terhadap medan magnet regional **F** karena adanya sumber medan magnet luar dalam nT, sehingga untuk mendapatkan nilai variasi harian, persamaannya dapat dituliskan sebagai (Gravmag, 2015):

$$\Delta F = \frac{t_n - t_a}{t_b - t_a}(T_b - T_a) \quad (2.14)$$

Dengan t_n adalah waktu saat pengukuran dalam detik, t_a adalah waktu terukur di *base* awal dalam detik, t_b adalah waktu terukur di *base* akhir dalam detik, T_b adalah nilai medan magnet total pada *base* akhir dalam nT, dan T_a adalah nilai medan magnet total pada *base* awal dalam nT.

2.2.5 *Frequency Dependent Susceptibility* (χ_{FD}%)

Frequency Dependent Susceptibility (χ_{FD}%) adalah perubahan suseptibilitas antara frekuensi rendah (X_{LF}) dengan frekuensi tinggi (χ_{HF}) Seperti yang di tunjukkan pada persamaan 2.15:

$$\chi_{FD}\% = \frac{X_{LF} - X_{HF}}{X_{LF}} \times 100 \quad (2.15)$$

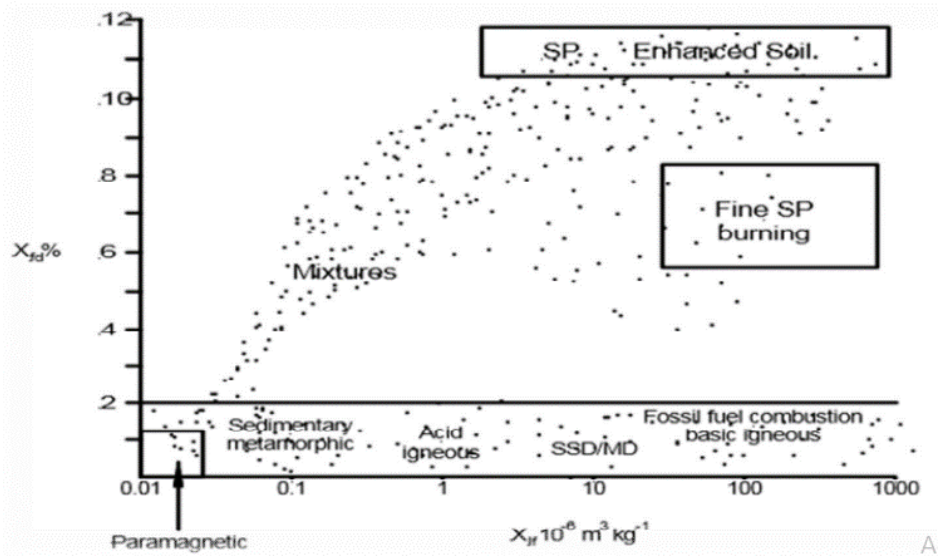
Nilai (X_{FD}%) dapat digunakan untuk mengetahui keberadaan bulir superparamagnetik yang terdapat pada sampel. Interpretasi nilai χ_{FD}% terhadap keberadaan bulir superparamagnetik dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Interpretasi nilai χ_{FD}%

Nilai X_{FD}%	Keterangan
0,0 - 2,0	Tidak ada atau mengandung kurang dari 10% bulir superparamagnetic
2,0 - 10,0	Mengandung bulir superparamagnetik antara 10% sampai dengan 75% yang merupakan campuran antara bulir halus dan kasar
10,0 - 14,0	Keseluruhan atau mengandung lebih dari 75% bulir superparamagnetic

Tabel 2.2 menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai χ_{FD}% maka akan semakin tinggi pula kandungan bulir superparamagnetiknya, namun nilai yang lebih besar dari 14% adalah sangat jarang dan dianggap sebagai kesalahan pengukuran

(Dearing, 1999). Hubungan antara nilai χ_{FD}% terhadap bulir magnetik dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.5 Scattergram Domain Magnetik (Dearing, 1999)

2.3 Medan Magnet Luar

Medan magnet luar berasal dari pengaruh luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari matahari. Karena sumber medan luar ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi dilapisan atmosfer, maka perubahan medan ini terhadap waktu jauh lebih cepat (Telford et al., 2004). Beberapa sumber medan magnet luar antara lain:

1. Perubahan konduktivitas listrik lapisan atmosfer dengan siklus 11 tahun.
2. Variasi harian dengan periode 24 jam yang berhubungan dengan pasang surut matahari dan mempunyai jangkauan 30 nT.
3. Variasi harian dengan periode 25 jam yang berhubungan dengan pasang surut bulan dan mempunyai jangkauan 2 nT.
4. Badai geomagnet yang bersifat acak dan mempunyai jangkauan sampai dengan 1.000 nT.

2.4 Kebun Raya

Kebun Raya adalah aset penting yang paling strategis dalam mengurangi dampak perubahan iklim global pada saat ini. Kebun Raya merupakan kawasan konservasi *ex situ* yang tidak bisa dialihfungsikan (Pasal 5 Peraturan Presiden Nomor 93 Tahun 2011) sehingga tutupan vegetasi yang berupa koleksi akan terjamin kelestariannya. Kebun Raya Indonesia dikembangkan berdasarkan pendekatan kondisi ekoregion yang mencerminkan keragaman ekosistem dan habitat berbagai jenis tumbuhan di Indonesia. Beragam jenis tumbuhan yang ada di Indonesia tumbuh dan berkembang pada berbagai tipe habitat yang spesifik. Kekayaan jenis tumbuhan Indonesia diperkirakan 38.000 jenis atau peringkat ke-5 di dunia dengan tingkat endemisitas ±55% tersebar di berbagai tipe ekosistem (Mittermeier *et al*., 1999). Indonesia memiliki 47 ekoregion yang tersebar di seluruh wilayah sehingga idealnya harus ada minimal 47 kebun raya untuk mewakili 47 ekoregion tersebut (Witono *et al,* 2012).

Gambar 2.6 Peta Persebaran Kebun Raya di Indonesia (LIPI)

Kebun Raya Indonesia memiliki tugas berskala internasional untuk mengimplementasikan *Global Strategy for Plant Conservation* (GSPC), strategi global yang dituangkan dalam 16 butir target penyelamatan tumbuhan dunia (Davis, 2008). Kebun Raya diharuskan memiliki kebijakan di tingkat nasional untuk

menyusun peraturan tentang konservasi *ex situ*, termasuk perhatian yang besar pada jenis-jenis terancam kepunahan dan jenis-jenis bernilai komersial tinggi (BGCI, 2012). Empat Kebun Raya di bawah pengelolaan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) baru mampu mengkonservasi sekitar 21,5% tumbuhan terancam kepunahan Indonesia (Purnomo *et al*., 2010). Jumlah koleksi Kebun Raya Indonesia saat ini baru mencapai 97 jenis (24%) dari total jumlah jenis tumbuhan terancam Indonesia, atau 104 jenis (25%) jika jenis yang ada di pembibitan dimasukkan (Purnomo *et al.,* 2013). Capaian Kebun Raya Indonesia masih berada di bawah Royal Botanic Garden, Kew yang mencapai 30% pada akhir tahun 2007, namun lebih baik jika dibandingkan dengan capaian Portugal yang hanya mampu mengkoleksi 5,9% nya saja (Purnomo *et al.,* 2010).

Indonesia memiliki jumlah jenis tumbuhan terancam kepunahan yang cenderung meningkat setiap tahunnya, tahun 2009 hingga 2010 sebanyak 386 jenis terancam kepunahan, tahun 2011 sebanyak 394 jenis, tahun 2012 sebanyak 393 jenis, dan tahun 2013 sebanyak 404 jenis (IUCN, 2013). IUCN pada tahun 2013 telah mengkategorikan sebanyak 1.160 jenis tumbuhan Indonesia, 404 di antaranya berada dalam kategori terancam, yaitu 115 jenis kritis (*critically endangered*/CR), 77 jenis rawan (*endangered*/EN), dan 212 jenis rentan (*vulnerable*/VU). Sehingga untuk mengurangi jumlah tumbuhan yang terancam punah dibutuhkan penambahan jumlah Kebun Raya, salah satu nya Kebun Raya ITERA.

2.5 Tanah

Tanah merupakan bahan lepas yang tersusun dari batuan yang telah melapuk, mineral lainnya, dan bahan organik yang telah melapuk dan menyelimuti sebagian besar permukaan bumi (Handayanto, 1988). Menurut *Soil Survey Staff* (1975) tanah adalah kumpulan tubuh alami pada permukaan bumi yang dapat berubah atau dibuat oleh manusia dari penyusunnya yang meliputi bahan organik yang sesuai bagi perkembangan akar tanaman. Tanah terdiri dari partikel-partikel batuan, bahan organik, makhluk hidup, udara dan air.

Tanah mengandung unsur hara, dimana unsur hara tersebut terdiri dari unsur makro dan mikro (Warmada *et al.,* 2004). Unsur makro di dalam tanah antara lain

adalah Nitrpgen (N), Fosfor (P), Potassium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), dan Belerang (S). Sedangkan unsur mikro di dalam tanah antara lain adalan Boron (B), Tembaga (Cu), Besi (Fe), Klor (Cl), Mangan (Mn), Molibdenium (Mb), dan Seng (Zn). Besi merupakan mineral utama untuk fotosintesis karena besi berperan membentuk klorofil (Warmada *et al.,* 2004).

Lapisan tanah bagian atas pada umumnya mengandung bahan organik yang lebih tinggi dibandingkan lapisan tanah dibawahnya. Karena akumulasi bahan organik inilah maka lapisan tanah tersebut berwarna gelap dan subur sehingga merupakan bagian tanah yang sangat penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman.

2.6 pH Tanah

Nilai pH menunjukkan banyaknya konsentrasi ion Hidrogen (H^+) di dalam tanah. Semakin tinggi kadar H^+ di dalam tanah, semakin masam tanah tersebut. Selain ion H^+ di dalam tanah juga terdapat ion OH^- yang jumlahnya saling terbalik. Dimana semakin tinggi kadar ion H^+ maka akan sedikit kadar OH^-, begitupun sebaliknya. Jika kandungan H^+ lebih tinggi dibandingkan OH^- maka tanah tersebut bersifat masam. Jika kandungan OH^- lebih tinggi dari H^+ maka tanah tersebut bersifat alkalin. Jika kandungan H^+ sama dengan OH^- maka tanah tersebut bersifat netral yaitu memiliki pH=7. pH tanah di Indonesia berkisar antara 3 hingga 9. Pada penelitian ini, pH tanah dibagi menjadi 3 yaitu *low* dengan pH 4.5-5.5, *mid* dengan pH 5.6-6.5, dan *high* 6.6-7.5.

2.7 Temperatur Tanah

Temperatur adalah suatu sifat tanah yang sangat penting, secara langsung mempengaruhi pertumbuhan tanaman, kelembaban, aerasi, struktur, aktivitas mikrobial, enzimatik, dekomposisi serasah / sisa tanaman dan ketersediaan unsur hara tanaman (Hanafiah, 2012). Temperatur tanah disebut juga intensitas panas dalam tanah dengan satuan derajat Celcius. Temperatur tanah juga merupakan salah satu faktor tumbuh tanaman yang penting sebagaimana halnya air, udara dan unsur hara. Proses kehidupan bebijian, akar tanaman dan mikrobia tanah secara langsung

dipengaruhi oleh suhu tanah. Laju reaksi kimiawi meningkat dua kali lipat untuk setiap 10° kenaikan suhu. Selanjutnya disebutkan pula bahwa temperatur tanah sangat mempengaruhi aktivitas mikrobiologi tanah. Aktivitas ini sangat terbatas pada temperatur dibawah 10˚C, laju optimum aktivitas biota tanah yang menguntungkan terjadi pada suhu 18 - 30˚C, seperti bakteri pengikat N pada tanah berdrainase baik (Pathan and Colmer, 2002). Temperatur tanah di pengaruhi oleh faktor eksternal (lingkungan) dan faktor internal (tanah). Temperatur pada tanah digunakan sebagai istilah untuk menyatakan intensitas atau tingkat panas yang berfungsi sebagai indikator tingkat atau derajat aktivitas molekuler (Hanafiah, 2012). Pada penelitian ini, temperatur dibagi menjadi 3 yaitu *low* dengan temperatur 31-33°C, *mid* dengan temperatur 28-30°C, dan *high* dengan temperatur 25-27°C.

2.8 Kelembaban Tanah

Kelembaban tanah adalah adalah air yang mengisi sebagian atau seluruh pori-pori tanah yang berada di atas *water table* (Jamulya dan Suratman, 1993). Kelembaban tanah sangat dinamis, hal ini disebabkan oleh penguapan melalui permukaan tanah, transpirasi dan perkolasi (Suyono dan Sudarmadil, 1997). Pertumbuhan vegetasi memerlukan tingkat kelembaban tanah tertentu. Sehingga kelembaban tanah merupakan salah satu faktor penting bagi kesuburan tanah. Misalnya tanaman yang tumbuh pada tanah berpasir akan mengalami kekeringan karena kemampuan menyimpan air pada tanah berpasir sangat rendah, sehingga tanaman akan menghabiskan persediaan air lebih cepat dibandingkan tanaman yang tumbuh pada tanah lempung. Namun demikian, tingkat kelembaban tanah yang tinggi dapat menimbulkan permasalahan dalam hal kegiatan pertanian atau kehutanan (Asdak, 2004). Pada penelitian ini, kelembaban dibagi menjadi 3 yaitu *low* dengan kelembaban Dry+ dan Wet+, *mid* dengan kelembaban Dry dan Wet, dan *high* dengan kelembaban Normal.

2.9 Intensitas Cahaya Tanah

Cahaya sangat besar artinya bagi tumbuhan, terutama karena perannya dalam kegiatan fisiologis seperti fotosintesis, respirasi, pertumbuhan, pembukaan dan

penutupan stomata tanaman (Saifulloh, 2017). Penyinaran matahari mempengaruhi pertumbuhan, reproduksi dan hasil tanaman melalui proses fotosintesis. Penyerapan cahaya oleh pigmen-pigmen akan mempengaruhi pembagian fotosintat ke bagian-bagian lain dari tanaman melalui proses fotomorgenesis (Baharsjah, 1980). Fotomorfogenesis yaitu pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang langsung di control oleh cahaya dan tidak tergantung fotosintesis (Ting, 1982). Intensitas cahaya yang terlalu tinggi dan terlalu rendah dapat menghambat pertumbuhan vegetatif tanaman (Saifulloh, 2017). Pada penelitian ini, intensitas cahaya dibagi menjadi 3 yaitu *low* dengan intensitas cahaya *low-* dan *high+*, *mid* dengan intensitas cahaya *low* dan *high,* dan *high* dengan intensitas cahaya *low+*, *normal,* dan *high-*.

2.10 Korelasi

Korelasi adalah teknik analisis dalam statistik untuk menentukan hubungan antara dua variabel yang bersifat kuantitatif. Hubungan dua variabel tersebut dapat terjadi karena adanya hubungan sebab akibat atau dapat pula terjadi karena kebetulan saja. Dua variabel dikatakan berhubungan apabila perubahan pada suatu variabel akan diikuti perubahan pada variabel lain dengan arah yang sama (korelasi positif) atau berlawanan (korelasi negatif).

$$r = \frac{N \cdot \sum X.Y - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2][N \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (2.16)$$

dimana r adalah koefisien korelasi, N adalah banyaknya data, X dan Y adalah variabel data.

2.11 Regresi Multivariabel

Analisis regresi merupakan suatu metode atau teknik analisis hipotesis penelitian untuk menguji ada tidaknya pengaruh antara variabel satu dengan variabel lain yang dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik (regresi). Regresi multivariabel berfungsi untuk mencari pengaruh dari dua data atau lebih variabel independent (variabel bebas) terhadap variabel dependent (variabel terikat).

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \ldots + b_n X_n \quad (2.17)$$

dimana Y adalah variabel terikat, b adalah koefisien regresi, X adalah variabel bebas, dan a adalah konstanta regresi.