

**KEANEKARAGAMAN FLORA PADA BERBAGAI TINGKAT  
KEPADATAN TANAH DI HUTAN PEGUNUNGAN TAMAN NASIONAL  
BROMO TENGGER SEMERU (TNBTS)**

Oleh  
**RANA FARRASATI**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI  
MALANG  
2017**

**KEANEKARAGAMAN FLORA PADA BERBAGAI TINGKAT  
KEPADATAN TANAH DI HUTAN PEGUNUNGAN TAMAN NASIONAL  
BROMO TENGGER SEMERU (TNBTS)**

Oleh  
**RANA FARRASATI**  
135040201111424

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI  
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN TANAH  
MALANG  
2017**

## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi yang berjudul "**Keanekaragaman Flora pada Berbagai Tingkat Kepadatan Tanah di Hutan Pegunungan Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS)**" merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan berada di bawah bimbingan dosen pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang dengan jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Maret 2017

Rana Farrasati



## LEMBAR PERSETUJUAN

Judul penelitian : Keanekaragaman Flora pada berbagai Tingkat  
Kepadatan Tanah di Hutan Pegunungan Taman  
Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS)

Nama Mahasiswa : Rana Farrasati  
NIM : 135040201111424  
Jurusan : Tanah  
Program Studi : Agroekoteknologi  
Laboratorium : Biologi Tanah

Disetujui Oleh:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, Ph.D  
NIP. 195604101983032001

Ir. Widiyanto, M.Sc.  
NIP. 195302121979031004

Diketahui,  
a.n Dekan  
Ketua Jurusan

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU.  
NIP. 195405011981031006

Tanggal Persetujuan :

## LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

### MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU  
NIP. 19540501 198103 1 006

Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, Ph.D  
NIP. 195604101983032001

Penguji III

Penguji IV

Ir. Widiyanto, M.ScIstika Nita, SP. MP  
NIP. 195302121979031004

NIK.20160989 1118 2 001

Tanggal Lulus:

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA



*Skripsi ini kupersembahkan untuk*

*Kedua orang tua,*

*H. Tedjo Sasmoyo dan Hj. Lies Setyowati*

*serta adik - adikku, Rahman Ramadhan dan Rafi Parama*

## RINGKASAN

**RANA FARRASATI. 135040201111424. Keanekaragaman Flora pada Berbagai Tingkat Kepadatan Tanah di Hutan Pegunungan Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS). Dibimbingoleh Kurniatun Hairiah dan Widiyanto.**

---

Degradasi hutan merupakan faktor pembatas dari keberlanjutan ekosistem yang menyebabkan penurunan kualitas tanah, keanekaragaman hayati (flora dan fauna), dan fungsinya sebagai penyedia kebutuhan pokok dan jasa lingkungan. Keberhasilan upaya restorasi hutan yang akan dilakukan di TNBTS perlu dimonitor dan dievaluasi, untuk itu dibutuhkan beberapa informasi kondisi awal baik dari aspek tanah dan keanekaragaman flora sebelum dilakukan restorasi. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji keanekaragaman flora pada berbagai stadia pertumbuhan di berbagai tingkat kepadatan tanah di kawasan hutan degradasi dibandingkan dengan kawasan hutan utuh di TNBTS, sebagai *baseline* dari upaya restorasi kawasan.

Penelitian dilaksanakan di TNBTS, Pasuruan, Jawa Timur tepatnya pada dua resort pengelolaan yaitu RPTN Coban Trisula dan RPTN Pananjakan. Pengambilan data dilakukan dari bulan September 2016 hingga Desember 2016. Rancangan yang digunakan adalah rancangan tersarang (*Nested Sampling Design*) dengan 3 faktor sumber keragaman (SK) yaitu jenis hutan (hutan degradasi dan hutan utuh), kelerengan (Lereng tengah dan bawah) dan kedalaman tanah (0 - 10 cm; 10 - 20 cm; 20 - 30 cm). Pengamatan diulang 4 kali pada 4 Kawasan Konservasi yang berbeda (KK1, KK4, KK5A, dan KK5B), sehingga total pengukuran sebanyak 16 plot dengan 48 sampel tanah. Variabel yang diukur dari aspek flora yaitu indeks nilai penting (INP), indeks keanekaragaman jenis ( $H'$ ), indeks kekayaan jenis ( $R$ ) dan indeks kemereataan jenis ( $E$ ) dan dari aspek tanah yaitu berat isi, berat jenis, porositas, ketahanan penetrasi tanah, C-organik dan pH tanah.

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa rata - rata indeks keanekaragaman jenis ( $H'$ ) di hutan degradasi lebih rendah jika dibandingkan dengan hutan utuh. Indeks  $H'$  di hutan degradasi bervariasi tergantung dari stadia pertumbuhannya, untuk stadia semai tergolong 'sedang' ( $H'=1,68$ ), dan untuk stadia sapihan pancang dan pohontergolong 'rendah' ( $H'<1$ ). Indeks  $H'$  di hutan utuh tergolong 'sedang' untuk stadia pertumbuhan semai, sapihan, pancang dan pohon ( $1<H'<3$ ). Di hutan degradasi, ada 3 jenis flora yang mendominasi yaitu *Styphellia javanica* (stadia semai, INP=85%), pisang atau *Musa paradisiaca* (pancang, INP=193%), dan mentigen atau *Vaccinium varingiaevolium* (sapihan dan pohon, INP=147% dan 300%). Di hutan utuh didominasi oleh *Eupatorium riparium* (semai, INP=105%), *Pilea melastomoides* (sapihan, INP=146%), *Pinanga coronata* (pancang, INP=193%), dan *Acacia decurrens* (pohon, INP=287%). Tanah di kedua jenis hutan di TNBTS memiliki tingkat kepadatan yang rendah, BI tanah rata-rata  $0,82 \text{ g cm}^{-3}$ , porositas tanah 63%, serta penetrasi tanah 0,10 MPa. Sekitar 20% penurunan jumlah jenis pohon di hutan TNBTS berhubungan dengan peningkatan penetrasi tanah ( $R=0,2101$ ), namun hal tersebut tidak terjadi pada stadia semai, sapihan dan pancang.

## SUMMARY

### **RANA FARRASATI. 135040201111424. Flora Diversity at Different Levels of Soil Compaction in the Mountain Forests of Bromo Tengger Semeru National Park (TNBTS). Supervised by Kurniatun Hairiah dan Widiyanto.**

Forest degradation is one of the limiting factor of the ecosystems sustainability that caused land degradation, biodiversity loss (flora and fauna), and deflation of its function for provide goods and environmental services. The successfulness of restoration efforts, which will be conducted in TNBTS need to be monitored and evaluated, therefore some informations of initial condition both from soil and flora diversity prior to restoration are observed. The aim of this study is to develop a baseline information by assessing the diversity of flora (seedling, sapling, pole and trees) at different levels of soil compaction in degraded forest compared to soil condition of natural forest in TNBTS areas.

This research were held in TNBTS, Pasuruan, East Java at two resort management area which are RPTN Coban Trisula and RPTN Pananjakan. Field measurements were conducted from September 2016 until December 2016. The sampling strategies used a Nested Sampling Design with 3 sources of variance (SV) i.e. type of forest (degraded and natural forest), slopes (upper and lower slope), and soil depths (0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm) were performed on 4 conservation areas (KK1, KK4, KK5A, KK5B) used as replications, that made total soil samples measured was 48 samples. The measured variables in this study consist of flora aspects which are important value index (IVI), diversity index (H'), richness index (R), and evenness index (E). From soil aspects were measured bulk density, particle density, porosity, penetration resistance, C-organic, and pH.

Based on the study results shows that species diversity index (H') in degraded forest is lower than natural forest. Index H' in degraded forest varied upon life stages of vegetation, for seedlings has a 'moderate' rates (H' = 1,68), while saplings poles and trees have a 'low' rates (H' < 1). In natural forests for seedling, saplings, poles and trees classified as 'moderate' diversity (1 < H' < 3). In the degraded forest, there are three dominated species *Styphellia javanica* (seedlings, IVI = 85%), banana or *Musa paradisiaca* (poles, IVI = 193%), and local name Mentigen or *Vaccinium varingiaevolium* (sapling and trees, IVI = 147% and 300%). In the natural forest dominated by *Eupatorium riparium* (seedlings, IVI = 105%), *Pilea melastomoides* (sapling, IVI = 146%), *Pinanga coronata* (poles, IVI = 193%), and *Acacia decurrens* (trees, IVI = 287%). Forests soil in TNBTS has a low compaction rates, with average bulk density of 0,82 g cm<sup>-3</sup>, soil porosity of 63%, and soil penetration resistance of 0,10 MPa. Approximately 20% reduction in the number of tree species in the forest TNBTS is associated with the increasing of soil penetration resistance (R = 0.2101), but this does not revamp at the seedlings, saplings and poles stadium.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas segala limpahan rahmat, karunia, taufik dan hidayah-Nya telah menuntun penulis hingga dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“Keanekaragaman Flora pada Berbagai Tingkat Kepadatan Tanah di Hutan PegununganTaman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS)”**. Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian kerjasama antara team peneliti UB-TNBTS tahun 2016, berjudul: KAJIAN PEMULIHAN EKOSISTEM TAMAN NASIONAL BROMO TENGGER SEMERU (TNBTS): Pengembangan kriteria dan indikator biofisik hutan terdegradasi. Dukungan finansial selama penelitian sebagian besar diperoleh dari Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Dirjen Konservasi Alam, Balai Besar TNBTS. Penulis menyadari telah banyak menerima bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini, sehingga penulis tidak lupa menyampaikan ucapan terimakasih yang tak terhingga atas segala bantuan serta dukungan yang tulus dan ikhlas dari semua pihak selama proses pengerjaan skripsi ini, terutama kepada:

1. Allah SWT, Tuhan semesta alam atas berkah dan rahmatnya dalam menuntun penyusunan skripsi
2. Kedua orang tua saya beserta keluarga yang senantiasa memberikan motivasi yang membangun, doa, memberikan dukungan moral dalam setiap kegiatan yang saya lakukan guna mendukung proses penyusunan skripsi
3. Ibu Prof.Ir. Kurniatun Hairiah, Ph.D selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan motivasi, bimbingan dan arahan yang membangun dan bermanfaat selama di bangku perkuliahan, mulai dari pengambilan data di lapang hingga penyusunan skripsi
4. Bapak Ir. Widiyanto, M.Sc, selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam proses penyusunan skripsi
5. Ibu Rika Ratna Sari, SP., M.P selaku dosen jurusan ilmu tanah yang telah memberikan arahan, bimbingan serta masukan dalam proses penyusunan skripsi
6. Bapak Cahyo Prayogo, SP., M.P., Ph.D selaku dosen jurusan ilmu tanah yang telah memberikan arahan, bimbingan serta masukan dalam proses analisis data



7. Bapak Danny Dwi Saputra, SP., MSi selaku dosen jurusan ilmu tanah yang telah memberikan arahan, bimbingan serta masukan dalam proses analisis dan diskusi terkait pembahasan dalam penyusunan skripsi
8. Bapak Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya
9. Bapak Agung Siswoyo, S. Hut. M.P, selaku Kepala Resort RPTN Ranu Pane TNBTS dan pembimbing lapang yang telah membimbing dan memberikan arahan terkait floristik di kawasan TNBTS
10. Seluruh staff dan karyawan Balai Besar Taman Nasional Bromo Tengger Semeru yang telah memberikan arahan dan kesempatan untuk melakukan penelitian di kawasan TNBTS terutama di RPTN Coban Trisula dan RPTN Pananjakan
11. Tim Forest Rangers (Endro, Nabila, Almira, Rajif, Febrian, Fitri, Andi, Atan, Rima) dan juga Mas Kiki serta Mas Tio yang telah banyak membantu, memberi motivasi dan berkorban waktu serta tenaga selama magang kerja, pengambilan data penelitian hingga proses penyusunan skripsi
12. Sobat - sobat Rikrap (Halim, Bagas, Yudhi, Ikhsan, Sudi, Cebe, Izzudin, Ejak), Bahloel(Upe, Ina, Ica, Sopi, Niso, Dwi), dan Sibakers (Paulina, Agnes, Pebri, Ojik) atas motivasi yang tak pernah putus dan kritik saran yang membangun selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi
13. Keluarga HMIT, teman - teman MSDL 2013 serta seluruh pihak yang telah mendukung dalam proses penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga masukan dan kritik sangat dibutuhkan oleh penulis. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat baik bagi penulis sendiri, rekan-rekan mahasiswa, instansi pemerintah, pihak-pihak dilokasi penelitian, masyarakat umum dan berbagai pihak lainnya sebagai bahan ilmu pengetahuan dan menambah wawasan bagi yang membacanya.

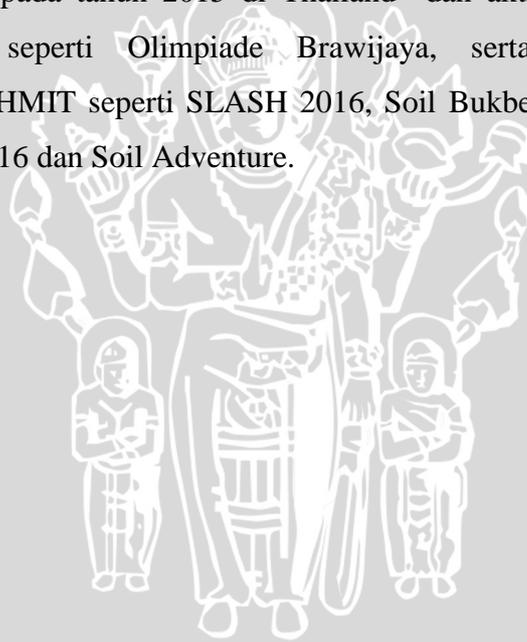
Malang, Maret 2017

Penulis

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Surabaya, 7 Januari 1996 sebagai anak pertama dari 3 bersaudara dari Bapak H. Tedjo Sasmoyo, S.E, MBA dan Hj. Ir. Lies Setyowati, S.T, MT. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Ikal Medan pada tahun 2001 hingga 2007 dan melanjutkan pendidikan di SMP Shafiyatul Amaliyah pada tahun 2007 hingga 2010 dan di SMAN 1 Medan pada tahun 2010 hingga 2013. Penulis kemudian terdaftar sebagai mahasiswa strata satu pada tahun 2013 dalam Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya dan terdaftar sebagai mahasiswa jurusan tanah pada semester ke-6.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif berorganisasi di HMIT FP UB dan AIESEC Universitas Brawijaya. Penulis mengikuti program pertukaran pelajar dari AIESEC pada tahun 2015 di Thailand dan aktif dalam beberapa kepanitiaan kampus seperti Olimpiade Brawijaya, serta kegiatan yang diselenggarakan oleh HMIT seperti SLASH 2016, Soil Bukber, Olimpiade Ilmu Tanah, Konsoildasi 2016 dan Soil Adventure.



**DAFTAR ISI**

<b>RINGKASAN .....</b>	<b>i</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>x</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Hipotesis.....	4
1.5 Manfaat .....	4
1.6 Alur Pikir Penelitian.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS) .....	5
2.2 Hutan Hujan Tropis.....	7
2.3 Keanekaragaman Flora.....	10
2.4 Degradasi Hutan.....	12
2.5 Kepadatan Tanah.....	13
<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>16</b>
3.1 Waktu dan Tempat .....	16
3.2 Kondisi Umum Wilayah .....	18
3.4 Tahapan Penelitian .....	20
3.5 Variabel Pengamatan .....	20
3.6 Metode Pelaksanaan.....	20
3.7 Pengolahan Data.....	32
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>33</b>
4.1 Hasil .....	33
4.2 Pembahasan.....	56
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>66</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>77</b>

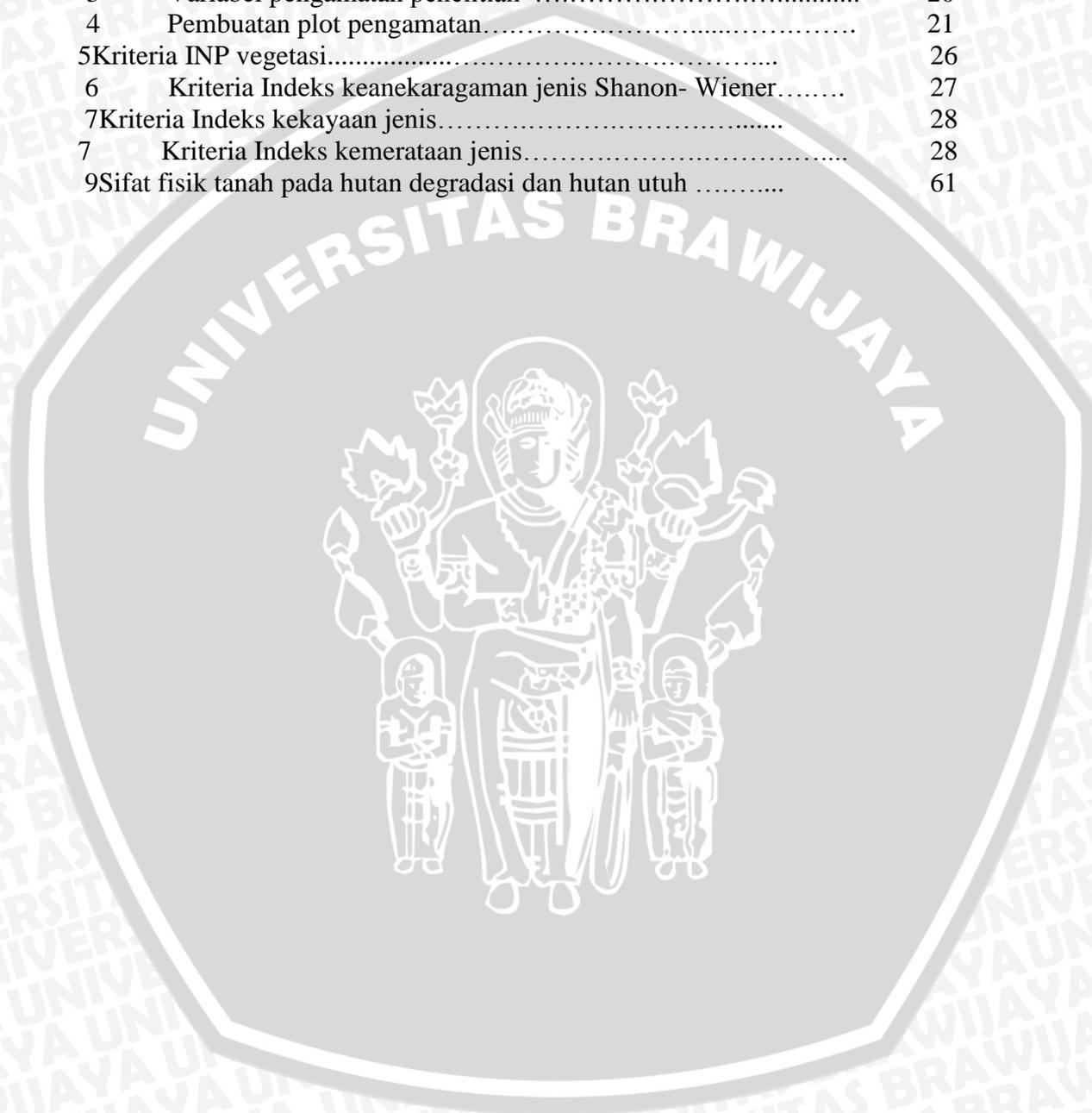


## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1	Alur pikir penelitian.....	4
2	Peta penggunaan lahan TNBTS.....	5
3	Zonasi di wilayah TNBTS.....	6
4	Sebaran hutan hujan tropis.....	8
5	Stratifikasi hutan hujan tropis.....	9
6	Tingkat pertumbuhan vegetasi .....	10
7	Peta Kawasan Konservasi (KK) di kawasan TNBTS tahun 2016– 2020 .....	16
8	Lokasi penelitian pada Kawasan Konservasi TNBTS .....	16
9	Peta geologi Taman Nasional Bromo Tengger Semeru.....	18
10	Kondisi lokasi penelitian (KK1, KK4, KK5A, KK5B) pada hutan utuh dan hutan degradasi.....	22
11	Skema Plot Pengamatan Sebaran Flora .....	23
12	Jumlah kumulatif jenis tanaman perstadia yang ditemukan pada hutan degradasi dan hutan utuh.....	35
13	Indeks Nilai Penting (INP) flora pada berbagai stadia di hutan utuh dan hutan degradasi .....	39
14	Rata - rata Indeks keanekaragaman (H') stadia sapihan pada kedua jenis hutan .....	41
15	Rata - rata Indeks keanekaragaman (H') stadia pancang pada kedua jenis hutan .....	41
16	Rata - rata Indeks Keanekaragaman (H') stadia pohon pada kedua jenis hutan .....	42
17	Rata - rata Indeks Kekayaan jenis (R) stadia pancang pada kedua jenis hutan .....	44
18	Rata - rata Indeks Kemerataan jenis (E) stadia pohon pada kedua jenis hutan .....	46
19	Berat isi tanah pada hutan degradasi dan hutan utuh.....	48
20	Berat jenis tanah pada tiga kedalaman tanah hutan .....	49
21	Porositas tanah pada tiga kedalaman jenis hutan.....	50
22	Kandungan fraksi penyusun tekstur tanah pada berbagai jenis hutan.....	52
23	pH H <sub>2</sub> O pada berbagai jenis hutan .....	53
24	Kandungan bahan organik tanah di tanah hutan degradasi dan hutan utuh dari kedalaman yang berbeda.....	54
25	Hubungan populasi pohon dengan populasi cacing tanah.....	57
26	Hubungan berat isi dengan penetrasi tanah pada dua jenis hutan .....	58
27	Hubungan porositas dengan penetrasi tanah .....	59
28	Hubungan penetrasi tanah dengan jumlah spesies flora pada stadia pancang.....	62
29	Hubungan Penetrasi tanah dengan jumlah spesies flora pada stadia pohon .....	62

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1	Alat penelitian.....	19
2	Bahan penelitian.....	19
3	Variabel pengamatan penelitian .....	20
4	Pembuatan plot pengamatan.....	21
5	Kriteria INP vegetasi.....	26
6	Kriteria Indeks keanekaragaman jenis Shanon- Wiener.....	27
7	Kriteria Indeks kekayaan jenis.....	28
7	Kriteria Indeks pemerataan jenis.....	28
9	Sifat fisik tanah pada hutan degradasi dan hutan utuh .....	61



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1	Geoposisi lokasi pengamatan .....	75
2	Morfologi tanaman dominan di hutan utuh dan hutan degradasi TNBTS.....	76
3	Jenis tanaman yang ditemukan di hutan utuh dan hutan degradasi.....	78
4	Nilai INP pada berbagai stadia pertumbuhan .....	81
5	Hasil analisis ragam Indeks keanekaragaman flora (H') pada berbagai stadia pertumbuhan .....	84
6	Rata - rata indeks keanekaragaman flora (H') pada berbagai stadia pertumbuhan.....	85
7	Hasil analisis ragam Indeks kekayaan jenis tanaman (R) pada berbagai stadia pertumbuhan .....	86
8	Rata - rata indeks kekayaan jenis flora (R) pada berbagai stadia pertumbuhan.....	87
9	Hasil analisis ragam Indeks pemerataan jenis flora (E) pada berbagai stadia pertumbuhan.....	88
10	Rata - rata indeks pemerataan jenis flora (E) pada berbagai stadia pertumbuhan.....	89
11	Analisis ragam sifat fisik tanah pada hutan utuh dan hutan degradasi TNBTS .....	90
12	Analisis ragam sifat kimia tanah pada hutan utuh dan hutan degradasi.....	93
13	Data rata - rata sifat fisik tanah pada hutan utuh dan hutan degradasi .....	94
14	Data rata-rata sifat kimia tanah pada hutan utuh dan hutan degradasi .....	95



## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Taman Nasional merupakan kawasan pelestarian dan konservasi alam yang memiliki ekosistem asli dan memiliki fungsi untuk mengelola dan pemanfaatan berkelanjutan sumber daya alam serta deposit bumi (Pristyanto, 2005). Salah satu Taman Nasional yang berada di Pulau Jawa adalah Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS). Wilayah TNBTS adalah kompleks area seluas sekitar 50.276 Ha di area pegunungan dengan keanekaragaman yang tinggi dan lanskap yang indah meliputi tiga lanskap terkenal yaitu Gunung Bromo, Kaldera Tengger dan Gunung Semeru (Budiyanti, 2015). Kawasan ekosistem di TNBTS merupakan kawasan hutan hujan tropis dengan pohon-pohon yang besar dan berusia ratusan tahun yang memiliki tipe ekosistem sub-montana (750 - 1500 mdpl), montana (1500 - 2400 mdpl) dan sub-alpin (>2400 mdpl) (Setyawan dan Sugiyarto, 2015).

Ekosistem hutan hujan tropis merupakan tempat hidup beranekaragam makhluk hidup, memberikan jasa lingkungan yang penting antara lain: menjaga hidrologi kawasan (sebagai daerah resapan air), kawasan keanekaragaman hayati (flora dan fauna) serta sebagai penyimpan karbon baik pada level lokal maupun global (Laurance, 1999; Swift *et al.*, 2004). Potensi alam yang menarik wisatawan untuk berkunjung ke kawasan TNBTS berupa alam, budaya masyarakat (Tengger), gua, savanna, air terjun, danau, flora dan fauna, diperkirakan terdapat kurang lebih 1.025 jenis flora dan 158 jenis fauna (Syarifuddin, 2011). Menurut Budiyanti (2015), beberapa flora pegunungan yang terdapat di TNBTS antara lain jamuju (*Dacrycarpus imbricatus*), cemara gunung (*Casuarina sp.*), edelweiss (*Anaphalis javanica*), berbagai jenis anggrek, rumput langka (*Styphelia pungieus*) dan sebagainya. Berdasarkan hasil studi dari IUCN (The World Conservation Union) (2012), kelestarian flora tersebut telah terancam oleh adanya deforestasi, degradasi, dan fragmentasi hutan. Kegiatan deforestasi tersebut dapat menurunkan keanekaragaman hingga 100 spesies per hari.

Degradasi di kawasan TNBTS disebabkan oleh 2 hal: (a) berhubungan dengan aktivitas manusia (*nurture*) di sekeliling hutan, seperti deforestasi dan alih fungsi lahan hutan menjadi lahan pertanian dan perkebunan, pembangunan; (b)

berhubungan dengan gangguan alam (*nature*) seperti erupsi gunung berapi yang mengeluarkan material vulkanik dan gas belerang, *night frost* (embun beku), kebakaran, kekeringan, banjir dan longsor, sehingga mengurangi tingkat kerapatan dan keanekaragaman flora endemik di kawasan TNBTS dimana sebagian besar spesies asli digantikan oleh spesies eksotis (Hariyati *et al.*, 2013). Menurut Hairiah *et al.* (2006), perubahan struktur floristik dan kerapatan vegetasi hutan menyebabkan perubahan jumlah dan jenis (kualitas) masukan seresah kedalam tanah, sehingga mengubah proses - proses, keanekaragaman serta kerapatan organisme tanah serta jasa lingkungan tanah; misalnya jumlah pori makro yang mempengaruhi kepadatan tanah, siklus air dan hara, dan sebagainya.

Kepadatan tanah adalah bentuk degradasi sifat fisik tanah yang menekan produktivitas tanah dan pertumbuhan tanaman dimana serapan air dan hara menurun karena akar sulit menembus tanah (FAO, 2011; Russel, 1973). Indikator tingkat kepadatan tanah antara lain ditunjukkan oleh ketahanan penetrasi, makropori tanah dan berat isi tanah (Suprayogo *et al.*, 2004). Menurut Coder (2000), tanah dengan kepadatan yang tinggi memiliki ketahanan penetrasi dan berat isi yang tinggi namun makroporinya rendah sehingga menghambat pertumbuhan flora dan menurunkan keanekaragamannya.

Dalam upaya pengembalian dan menyeimbangkan fungsi ekosistem, TNBTS memiliki target pemulihan (restorasi) ekosistem hutan pada "daerah terdegradasi" seluas 1260 Ha yang dilaksanakan pada tahun 2015 – 2019 dengan berlandaskan Surat Direktur Konservasi Kawasan No. 382 tanggal 7 Februari 2016. Kegiatan tersebut dilaksanakan pada zona rehabilitasi TNBTS yang telah ditetapkan oleh Dirjen Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam dengan luas ± 2000 Ha.

Pemulihan fungsi ekosistem TNBTS memerlukan waktu yang sangat panjang, keberhasilan upaya restorasi lahan terdegradasi harus di monitor dan dievaluasi (M&E) secara berkala, salah satunya adalah dengan mengamati keanekaragaman floranya di berbagai kelas hutan dan pada berbagai kondisi topografi dan tingkat kepadatan tanah yang berbeda.

## 1.2 Rumusan Masalah

Upaya pemulihan fungsi ekosistem TNBTS dilakukan dengan jalan mengadakan restorasi vegetasi pada tahun 2016 - 2020 di enam lokasi yang teridentifikasi sebagai hutan terdegradasi. Guna mengetahui tingkat keberhasilan kegiatan restorasi dalam jangka waktu cukup panjang tersebut maka harus dilakukan monitor dan evaluasi (M&E) secara berkala. Dalam kegiatan M&E dibutuhkan data awal (*baseline*) beberapa variabel indikator. Salah satunya adalah keanekaragaman flora yang ada di berbagai kelas hutan yang terletak pada berbagai kondisi topografi dan tingkat kepadatan tanah. Ada 3 pertanyaan yang harus dijawab melalui penelitian, yaitu:

- 1) Bagaimana kondisi keanekaragaman flora di berbagai lahan hutan yang akan dilakukan restorasi (hutan terdegradasi)? Seberapa parah tingkat terdegradasinya bila dibandingkan dengan keanekaragaman flora hutan yang masih utuh?
- 2) Apakah terdapat lapisan dalam tanah pada hutan utuh ataupun hutan degradasi yang memiliki kepadatan tanah yang relatif tinggi? Jika ada pada lapisan yang mana dan berapa besar tingkat kepadatannya?
- 3) Apakah rendahnya tingkat keanekaragaman flora di hutan berhubungan erat dengan tingkat kepadatan tanah tersebut?

## 1.3 Tujuan

- 1) Mengidentifikasi jumlah jenis dan tingkat keanekaragaman flora pada berbagai stadia pertumbuhan dalam ekosistem hutan degradasi dan hutan utuh di kawasan TNBTS
- 2) Mengidentifikasi kondisi kepadatan tanah pada lapisan tanah di bawah tutupan hutan degradasi dan hutan utuh
- 3) Mengkaji hubungan antara tingkat keanekaragaman flora dengan tingkat kepadatan tanah

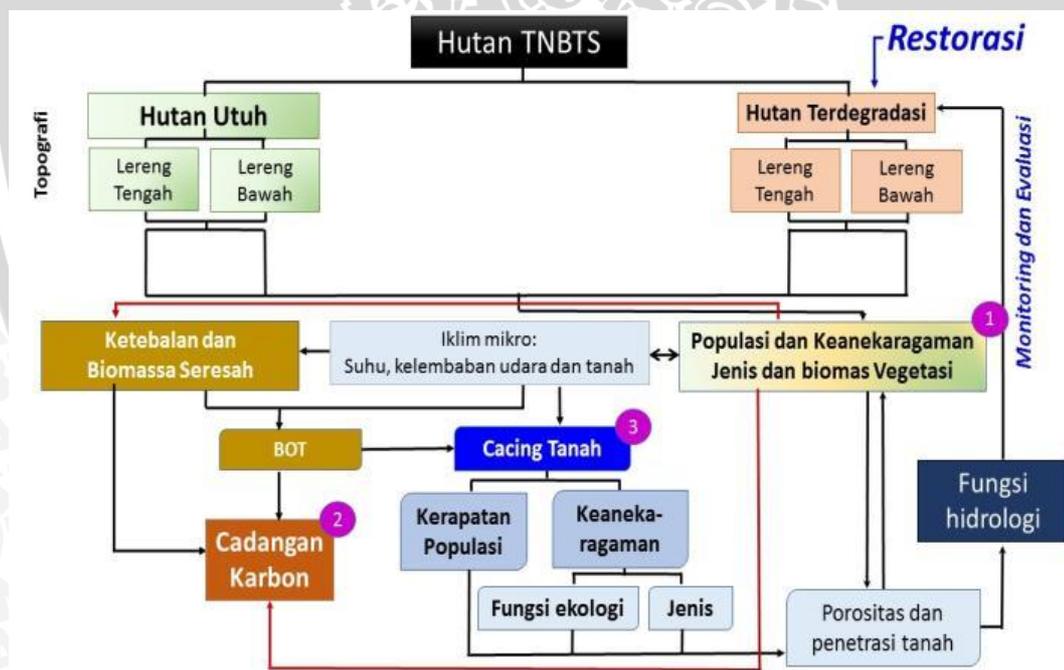
### 1.4 Hipotesis

- 1) Ekosistem hutan degradasi di kawasan TNBTS memiliki jumlah jenis, tingkat keanekaragaman flora lebih rendah dibandingkan dengan hutan utuh.
- 2) Dibawah tutupan hutan terdegradasi terdapat lapisan - lapisan tanah yang memiliki kepadatan lebih tinggi dibandingkan tanah pada hutan utuh.
- 3) Keanekaragaman flora tertinggi terdapat pada kawasan hutan dengan tingkat kepadatan tanah yang lebih rendah.

### 1.5 Manfaat

Memberikan data inventaris keanekaragaman floristik di kawasan TNBTS pada berbagai tingkat kepadatan tanah sebagai data dasar (*baseline*) bagi TNBTS terkait evaluasi kegiatan pemulihan fungsi ekosistem (restorasi) dan upaya pelestarian biodiversitas.

### 1.6 Alur Pikir Penelitian



Gambar 1. Alur pikir penelitian

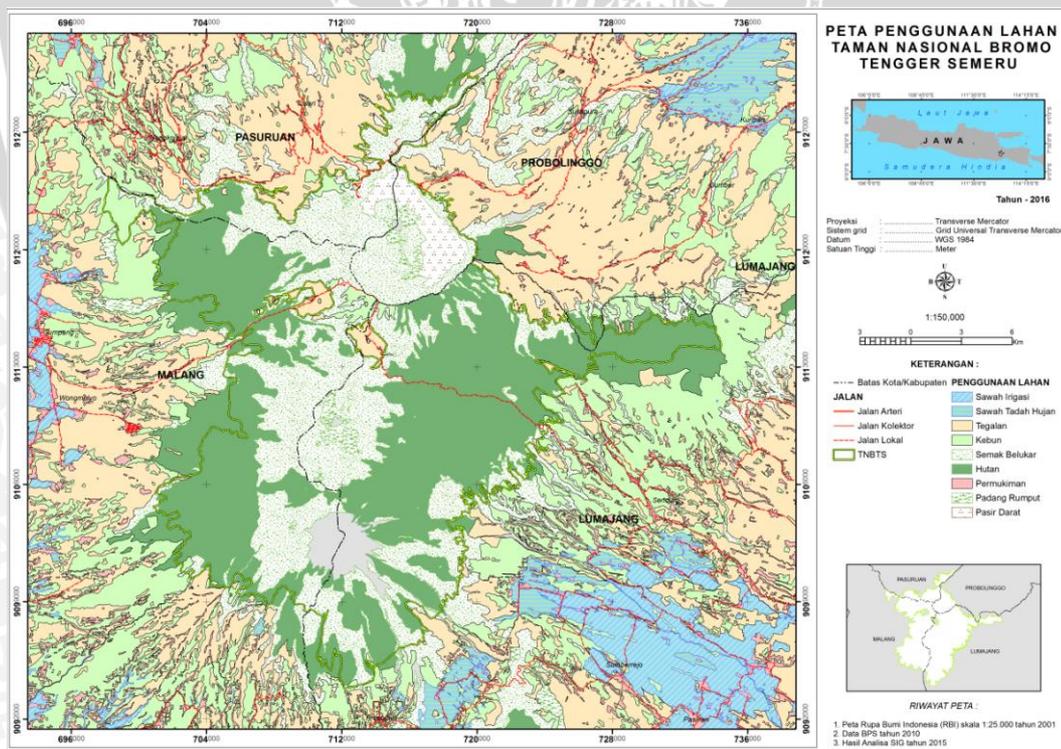
Keterangan:

- : mempengaruhi  
 ↔ : saling berpengaruh

## II. TINJAUAN PUSTAKA

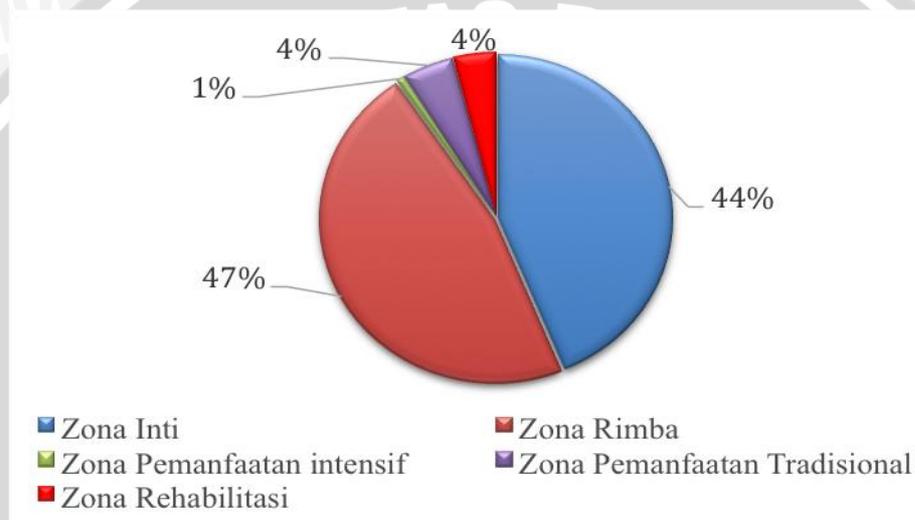
### 2.1 Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS)

Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS) adalah kompleks area seluas sekitar 50.276 ha di wilayah pegunungan, meliputi tiga lanskap terkenal yaitu Gunung Bromo, Kaldera Tengger dan Gunung Semeru (Budiyanti, 2015). Menurut Undang - Undang No.5 tahun 1990, Konsep Taman Nasional adalah kawasan pelestarian dan konservasi alam baik daratan maupun perairan yang mempunyai ekosistem asli, yang dikelola dengan sistem zonasi yang dimanfaatkan untuk tujuan penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budidaya, budaya, pariwisata dan rekreasi. Potensi keanekaragaman flora dan fauna yang tinggi, potensi hidrologis sebagai *catchment area* DAS Brantas, ekosistem yang khas serta adanya budaya dan adat istiadat yang tinggi pada masyarakat suku Tengger merupakan latar belakang penunjukan komplek Pegunungan Tengger menjadi wilayah taman nasional. Secara administratif, Taman Nasional Bromo Tengger Semeru berada pada empat kabupaten yaitu Lumajang, Malang, Pasuruan dan Probolinggo (Gambar 2).



Gambar 2. Peta penggunaan lahan Taman Nasional Bromo Tengger Semeru(Sumber: Tim Peneliti UB-TNBTS, 2016)

Berdasarkan Surat Keputusan Direktur Jenderal Perlindungan Hutan dan Pelestarian Alam Nomor: 68/Kpts/DJ-VI/98 tanggal 4 Mei 1998 TNBTS dibagi menjadi 5 zona yang terdiri atas zona inti, zona rimba, zona pemanfaatan intensif, zona pemanfaatan tradisional dan zona rehabilitasi. Zona inti di TNBTS memiliki luas 22.006 Ha (44%). Zona Rimba memiliki luas 23.485,20 Ha (47%). Zona Pemanfaatan Intensif memiliki luas 425 Ha (1%). Zona Pemanfaatan Tradisional memiliki luas 2.360 Ha (4%) dan Zona Rehabilitasi memiliki luas 2.000 Ha (4%) (Gambar 3).



Gambar 3. Zonasi di wilayah TNBTS

Kawasan TNBTS merupakan Taman Nasional dengan kekayaan alam dan keanekaragaman hayati yang melimpah. Terdapat bermacam tumbuhan khas, langka dan endemik hasil dari gejala alam yang menakjubkan dan tidak biasa dari lautan pasir, gunung api, kaldera dan keberadaan 6 danau alami yang terhampar di kawasan tersebut (Dinas Kehutanan, 2009). Diperkirakan kurang lebih 1.025 jenis flora dan 158 jenis fauna terdapat di TNBTS. Beberapa jenis tumbuhan yang terdapat di Taman Nasional Bromo Tengger Semeru antara lain jamuju (*Dacrycarpus imbricatus*), cemara gunung (*Casuarina* sp.), eidelweis (*Anaphalis javanica*), 157 jenis anggrek di kawasan hutan Gunung Semeru dan jenis rumput langka (*Styphelia pungieus*) yang tumbuh subur (Geonas, 2012).

Pada area TNBTS, terdapat dua desayaitu Desa Ranu Pane di ketinggian 2.200 mdpl (265 hektar) dan Desa Ngadas di ketinggian 1.900 mdpl (367 Ha) yang disebut sebagai 'Desa Enclave'. Kekayaan alam yang sedemikian rupa

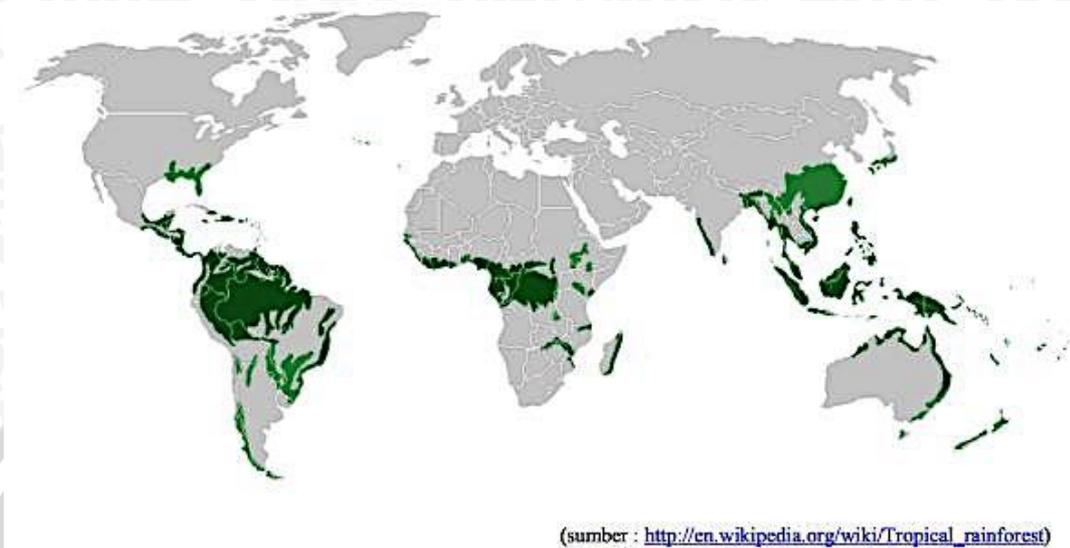
menyebabkan kawasan TNBTS memiliki kesuburan yang tinggi dan dimanfaatkan jasa lingkungannya untuk memenuhi kebutuhan ataupun dijadikan mata pencaharian penduduk sekitar. Presentase penduduk yang bermata pencaharian petani menduduki presentase terbesar yaitu 95%, sedangkan bagian 5% lainnya bekerja sebagai pedagang, buruh, pegawai negeri ataupun usaha jasa. Usaha jasa yang dikerjakan biasanya berhubungan dengan kegiatan pariwisata (Sutarto, 2006).

## 2.2 Hutan Hujan Tropis

Hutan hujan tropis merupakan ekosistem yang memiliki kelimpahan biodiversitas dengan fungsi paling penting dalam menjaga stabilitas kehidupan. Hutan jenis ini berada pada wilayah tropis dengan curah hujan yang tinggi sekitar 2000 – 4000 mm pertahun, suhu rerata 25 – 26° C, kelembaban rerata sekitar 80% dan kerapat flora yang tinggi. Menurut Vickery (1984) dalam Indriyanto (2006), tegakan hutan hujan tropis didominasi oleh pepohonan. Keanekaragaman spesies pohon di hutan hujan tropis sangat tinggi dibandingkan di ekosistem lain. Hal ini dapat dilihat setiap mengalami kenaikan ketinggian 100 meter maka vegetasi yang berada di kawasan hutan mengalami perubahan. Komposisi dari hutan hujan tropis terdiri atas 3 lapis tajuk pepohonan yaitu pohon, pole dan tumbuhan bawah (understorey). Jenis pepohonan diantaranya adalah tumbuhan merambat, epifit, pencekik, saprofit, parasit dan terna. Menurut Sheil *et al.* (2002) pohon pada hutan hujan tropis yang memiliki kondisi *mature* dengan diameter >10 cm memiliki kerapatan sekitar 400 – 600 batang per hektar.

Indonesia merupakan Negara yang dikenal sebagai zamrud khatulistiwa dimana hutan hujan tropis adalah kekayaan yang utama. Berdasarkan catatan pada abad ke 20, kawasan hutan Indonesia mencapai 162 juta hektar. Lahan hutan terluas terdapat di Papua (32,36 juta hektar) lalu disusul oleh hutan Kalimantan (28,23 juta hektar), Sumatera (14,65 juta hektar), Sulawesi (8,87 juta hektar), Maluku (4,02 juta hektar), Jawa (3,09 juta hektar) serta Bali dan Nusa Tenggara (2,7 juta hektar) (Kompas, 2015). Menurut data Bappenas (2003), Indonesia merupakan daerah tropis dengan tingkat keanekaragaman hayati kelima tertinggi di dunia dengan 38.000 spesies tumbuhan yang 55% tumbuhan termasuk spesies endemik, dan memiliki famili *Dipterocarpaceae* sejumlah 175 spesies pohon

sebagai penghasil kayu bernilai ekonomi tinggi. Gambar berikut memperlihatkan sebaran hutan hujan tropis di dunia yang ditandai dengan warna hijau tua (Gambar 4).



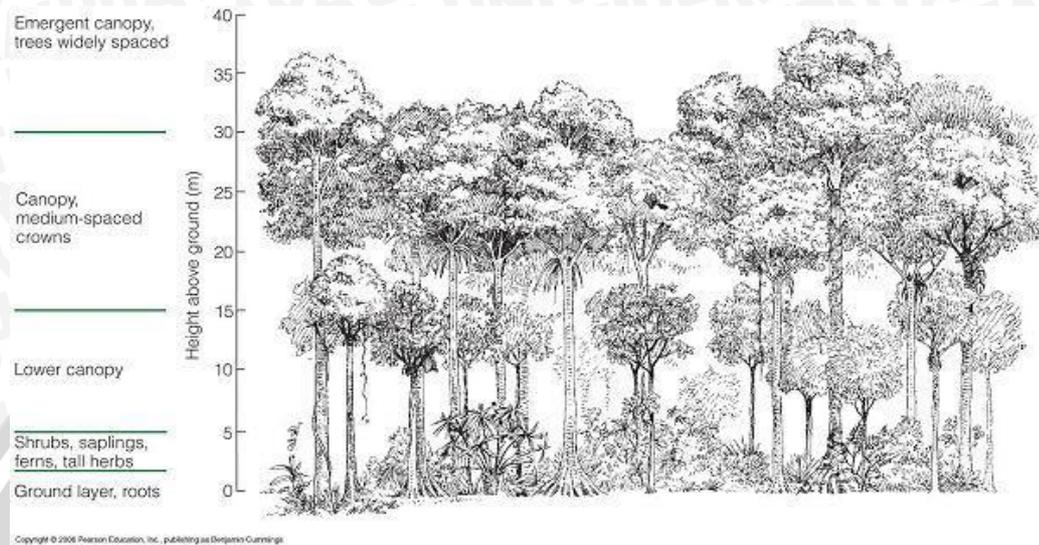
(sumber : [http://en.wikipedia.org/wiki/Tropical\\_rainforest](http://en.wikipedia.org/wiki/Tropical_rainforest))

Gambar 4. Sebaran hutan hujan tropis

### 2.2.1 Struktur dan Komposisi Hutan Hujan Tropis

Masing-masing pohon penyusun hutan tropis memiliki karakteristik pertumbuhan yang berbeda. Oleh karena itu, terbentuk struktur dan komposisi hutan hujan tropis. Definisi dari struktur sendiri adalah lapisan vertikal dari suatu komunitas hutan yang bergantung satu sama lain dan membentuk interaksi kehidupan, sedangkan komposisi hutan adalah jumlah jenis ataupun banyaknya individu dari suatu jenis tumbuhan yang menyusun suatu tegakan pohon (Wirakusuma, 1990 dalam Suseno, 2011). Berdasarkan penelitian Syarifuddin (2011), kelimpahan masing – masing jenis flora dan penyebaran individu menentukan struktur atau vegetasi dari suatu hutan. Dimana pada tahap pertumbuhan dan penyebaran suatu jenis tumbuhan memiliki banyak faktor yang mempengaruhinya diantaranya geografi, keadaan lingkungan dan sifat atau persyaratan tumbuh dari spesies tersebut. Pada kawasan TNBTS Resort Trisula menunjukkan komposisi hutan berupa hutan tropis, dimana kerapatan pohon dengan ukuran yang lebih kecil selalu lebih tinggi dibandingkan dengan ukuran pohon yang lebih besar dan komposisi keadaan hutan sekunder yang dipenuhi tanaman bawah bersifat tahan api.

Penyusunan tingkatan kanopi pada hutan hujan tropis dibagi atas lima strata yaitu: strata A, strata B, strata C, strata D dan strata E (Suseno, 2011; Marpaung, 2006).

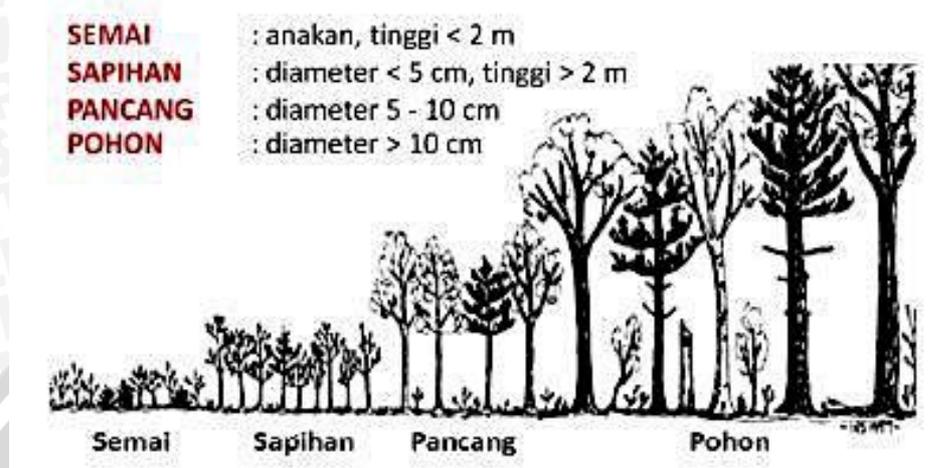


Gambar 5. Stratifikasi hutan hujan tropis (Marpaung, 2006)

- 1) Strata A: merupakan pohon paling tinggi yang mencuat di atas rata-rata atap kanopi pohon. Tinggi pohon selalu lebih dari 30 meter. Pohon berbatang lurus dan bersifat tidak tahan naungan.
- 2) Strata B: merupakan kanopi utama penyusun hutan. Tinggi pohon antara 15-30 meter. Memiliki tajuk yang saling bersinggungan atau bertumpuk dengan bentuk tajuk membulat, memanjang dan tidak melebar.
- 3) Strata C: merupakan kanopi penyusunan hutan. Tinggi pohon antara 5-15 meter. Lapisan ini memiliki variasi tinggi pohon. Umumnya memiliki banyak percabangan. Tajuk pohon sangat rapat.
- 4) Strata D: anakan pohon dengan tinggi sampai 1 - 5 meter. Lapisan ini juga diisi oleh spesies pohon yang masih muda (semai dan sapihan), palm, herba, dan paku-pauan besar.
- 5) Strata E: merupakan lapisan yang tumbuh sebagai penutup lantai hutan dengan tinggi 0 – 1 meter. Umumnya berupa tumbuhan talas – talasan atau jahe – jahean.

### 2.2.1.2 Stadia Pertumbuhan Flora

Menurut klasifikasi Rahayu *et al.* (2013), tingkat pertumbuhan vegetasi terdiri atas beberapa stadia yaitu, semai, sapihan, pancang dan pohon (Gambar 6).



Gambar 6. Tingkat pertumbuhan vegetasi (Rahayu *et al.*, 2013)

Tingkat semai (*seedling*) merupakan tumbuhan dari berkecambah sampai menjadi anakan dengan tinggi kurang dari 2 m, tingkat sapihan (*sapling*) merupakan tumbuhan muda dengan tinggi lebih dari 2 m dan diameter kurang dari 5 cm, tingkat pancang (*pole*) merupakan pohon muda dengan diameter 5 - 10 cm, tingkat pohon (*trees*) merupakan pohon dengan diameter lebih dari 10 cm.

### 2.3 Keanekaragaman Flora

Indonesia merupakan Negara yang diberi sebutan “Mega Biodiversity country” karena memiliki hutan hujan tropis terluas ketiga di dunia. Hutan hujan tropis merupakan salah satu komunitas dengan sumber daya alam khas dan tingkat keanekaragaman yang sangat berlimpah yang merupakan habitat berbagai flora dan fauna. Keanekaragaman flora dan fauna terlihat dari berbagai variasi bentuk, sifat, penampilan dan jumlahnya dalam suatu ekosistem. Faktor geologi, tanah, iklim dan penggunaan lahan akan mempengaruhi keanekaragaman jenis pada berbagai distribusi ekologi. Suatu komunitas dikatakan memiliki keanekaragaman jenis yang tinggi jikatersusun oleh jumlah jenis flora yang banyak dan beragam (Indriyanto, 2006; Offwell Woodland and Wildlife Trust, 2008).

### 2.3.1 Floristik Hutan hujan tropis

Komposisi flora di kawasan hutan sangat bervariasi tingkat keanekaragaman jenisnya dan mempunyai struktur yang sangat kompleks. Tingginya tingkat keanekaragaman jenis, baik secara vertikal maupun horizontal ini menciptakan banyaknya habitat yang sesuai dengan berbagai macam kehidupan liar (Primack dan Lovejoy, 1995). Komposisi vegetasi di kawasan TNBTS memiliki variasi yang cukup besar disebabkan oleh keadaan lingkungan, habitat dan susunan floristik serta campur tangan manusia. Menurut penelitian Syarifuddin (2011), pada resort Coban Trisula TNBTS yang memiliki penutupan tajuk relatif lebat dan berlapis baik pada tajuk atas, tengah ataupun bawah. Penutupan tajuk yang relatif lebat tersebut menyebabkan kelembaban yang cukup tinggi karena sinar matahari terhalang masuk ke lantai hutan. Struktur vegetasi lebat dan padat pada tingkat pohon, tiang, pancang dan semai sehingga terbentuk spesies endemik pada ekosistem tersebut.

TNBTS memiliki potensi kawasan berupa alam, flora-fauna, danau, gua, savanna, air terjun dan budaya masyarakat (Tengger). Diperkirakan terdapat kurang lebih 1.025 jenis flora dan 158 jenis fauna di TNBTS. Menurut Budiyantri (2015), beberapa flora pegunungan yang terdapat di Taman Nasional Bromo Tengger Semeru antara lain *Podocarpus imbricatus*, *P. neriifolius*, *Engelhartia spicata*, *Lithocarpus javanicus*, *Acer Laurinum*, *Dodonaea viscosa*, *Sambucus javanicus*, *Homalanthus giganteus*, *Cyatea contaminans*, *Dycksonia sp.*, *Scirpus mucronatus*, *Casuarina junghuhniana*, *Vacinium varingaefolium*, dan *Albitzia lophanta*, jamuju (*Dacrycarpus imbricatus*), cemara gunung (*Casuarina sp.*), eidelweis (*Anaphalis javanica*), berbagai jenis anggrek dan jenis rumput langka (*Styphelia pungieus*).

Pada beberapa tahun terakhir perkembangan keanekaragaman hayati menghadapi ancaman serius karena fragmentasi habitat. Fragmentasi habitat tersebut disebabkan oleh deforestasi hutan tropis dan konversi hutan menjadi sistem penggunaan lahan lainnya yang mengakibatkan hilangnya keanekaragaman hayati (Beck *et al.*, 2002; Scheffler, 2005).

## 2.4 Degradasi Hutan

Degradasi adalah suatu proses dimana terjadi penurunan kapasitas dalam memberikan hasil, baik saat ini maupun masa mendatang. Lahan yang terdegradasi dapat disebabkan oleh banyak faktor, terutama faktor antropologis (aktifitas manusia), deforestasi dan alih guna lahan. Proses penurunan produktivitas lahan terdegradasi dapat bersifat sementara ataupun tetap yang dicirikan dengan penurunan sifat fisik, kimia dan biologi (Sitorus *et al.*, 2011). Lahan tersebut tidak dapat lagi memenuhi fungsinya baik secara ekologis ataupun ekonomis dalam mendukung jalannya suatu ekosistem. Lahan terdegradasi memiliki komponen biotik dan abiotik yang sangat tidak stabil sehingga mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas lahan, penurunan kesuburan lahan dan peningkatan kepadatan tanah (Hardyanti, 2014). Sampai saat ini belum ada indikator kuantitatif bagi hutan terdegradasi. Indikator hutan terdegradasi masih di dominasi dalam bentuk kualitatif. Berikut adalah indikator hutan terdegradasi berdasarkan ringkasan dari FAO (2011), yaitu:

- 1) Kebakaran hutan menyebabkan kawasan hutan tersebut menjadi hutan degradasi
- 2) Keanekaragaman hayati/spesies, komposisi spesies menurun
- 3) Tingkat kerapatan kanopi tutupan hutan, sifat – sifat tanah (fisik, biologi, kimia) dan kesuburan tanah menurun
- 4) Terdapat spesies baru/pionir bukan spesies lokal atau endemik yang bersifat invasif
- 5) Fungsi hutan secara ekologis dan hidrologis menurun

Seiring dengan meningkatnya laju pembukaan hutan dari tahun ke tahun diperkirakan hutan yang memiliki fungsi sebagai paru – paru dunia dan penyangga kehidupan akan lenyap di masa yang akan datang. Beberapa jasa lingkungan hutan yaitu air, oksigen, dan penyerap cadangan karbon keberadaannya akan menjadi langka sehubungan dengan laju deforestasi yang tinggi. Tingkat keanekaragaman hayati seperti flora dan fauna juga terancam berkurang atau lebih parah-punah jika tidak ada tindakan lebih lanjut, Mawazin dan Subiakto (2013) melaporkan bahwa jumlah individu stadia pancang pada hutan bekas tebangan lebih rendah dibandingkan dengan ekosistem hutan utuh.

Hal tersebut dikarenakan sebagian pancang mengalami kerusakan akibat alat - alat berat yang digunakan untuk kegiatan penebangan, tertimpa pohon dan tidak cukup toleran untuk kembali ke kondisi semula sesuai dengan pernyataan Primack *et al.* (1998) dimana berbagai vegetasi akan mengalami banyak hambatan pertumbuhan pada lahan terdegradasi seperti persaingan unsur hara, cahaya, air dan pemadatan tanah sehingga kemudian akan mati.

## **2.5 Kepadatan Tanah**

Tanah terdegradasi pada umumnya memiliki tingkat kepadatan tanah yang tinggi. Pemadatan tanah merupakan salah satu faktor pembatas penyebab terganggunya pertumbuhan tanaman. Pemadatan tanah terjadi akibat 3 proses yaitu kompresi, kompaksi dan konsolidasi. Ketiga proses tersebut mempengaruhi penetrasi tanah, berat isi tanah dan total ruang pori tanah yang merupakan indikator dari tanah padat (Coder, 2000).

Menurut Stiegler (2004), tanah dengan kepadatan yang tinggi akan sulit diolah dan ditembus oleh akar tanaman terutama tanaman pertanian yang memiliki perakaran dangkal karena semakin sempitnya ruang antar partikel tanah. Terdapat banyak faktor yang menyebabkan tanah menjadi padat, seperti degradasi lahan, tingginya intensitas hujan, kebakaran, alih guna lahan, ataupun pengolahan tanah yang berlebihan secara intensif dengan membalik tanah hingga kedalaman tertentu. Hal tersebut menyebabkan struktur tanah rusak, meningkatnya berat isi, meningkatnya kekuatan tanah, menurunkan porositas tanah, aerasi dan kapasitas infiltrasi (Kozlowski, 1999). Adapun beberapa indikator sifat fisik tanah yang dipengaruhi oleh kepadatan tanah adalah sebagai berikut.

### **2.5.1 Ketahanan Penetrasi**

Menurut Gregory (2006), ketahanan penetrasi dapat diartikan sebagai ukuran kekuatan tanah jika dikenai gaya. Selain itu, sulit atau mudahnya akar masuk menembus tanah sangat ditentukan oleh tingkat ketahanan penetrasinya. Komposisi ruang pori tanah dijadikan gambaran untuk mengetahui seberapa padat tanah tersebut. Pengukuran ketahanan penetrasi diasumsikan sebagai kekuatan akar tanaman untuk menembus kedalam tanah dan menyerap air serta unsur hara didalam tanah. Nilai ketahanan penetrasi yang tinggi disebabkan oleh kadar air

tanah rendah atau sedikit sehingga akar semakin sulit menembus tanah (Coder, 2000).

Dalam mengukur tingkat ketahanan penetrasi tanah digunakan alat bernama penetrometer. Penetrometer memiliki cara kerja seperti akar tanaman. Tanah dengan tekstur lempung berdebu, penetrasi akar tanamannya akan terganggu pada berat isi  $1,4 \text{ g cm}^{-3}$  dan  $1,6 \text{ g cm}^{-3}$  pada tekstur lempung berpasir (Kozlowski, 1999). Untuk mengetahui tingkat kepadatan tanah secara kuantitatif diperlukan parameter yang saling berhubungan dengan kepadatan tanah seperti nilai porositas, ketahanan penetrasi, dan berat isi tanah yang memiliki pengaruh erat antara satu dengan yang lainnya.

### 2.5.2 Porositas Tanah

Porositas tanah yang rendah merupakan indikator dari pemadatan tanah. Pori dalam tanah dibedakan menjadi dua jenis, yaitu pori makro dan pori mikro. Pori makro berisi udara sedangkan pori mikro berisi air. Porositas memiliki peranan penting bagi tanah karena mempengaruhi kandungan air tanah, infiltrasi tanah, kecepatan drainase tanah, pertukaran  $\text{O}_2$  dan  $\text{CO}_2$  dalam tanah serta jumlah udara dalam tanah (Wolf dan Snyder, 2003).

Menurut Coder (2000), kondisi tanah yang ideal adalah tanah yang memiliki komposisi ruang pori 50% yang terdiri atas pori berisi udara dan air, 45% terdiri atas bahan mineral dan 5% terdiri atas organisme tanah dan bahan organik. Pada umumnya ruang pori tanah organik memiliki volume total  $0,55 - 0,94 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  sedangkan tanah mineral  $0,28 - 0,75 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Kepadatan tanah terjadi karena kerapatan tanah yang meningkat akibat berkurangnya porsi ruang pori tanah dan adanya tekanan terhadap tanah.

### 2.5.3 Berat Isi Tanah

Meningkatnya kepadatan tanah berjalan sebanding dengan peningkatan berat isi tanah. Pendesakan antar partikel tanah akibat faktor luar seperti pengolahan tanah menyebabkan berat isi tanah bertambah. Semakin tinggi berat isi tanah maka ruang pori menjadi makin sempit sehingga berdampak pada sulitnya akar menembus tanah (Singer dan Munns, 1996). Pada umumnya berat isi tanah ideal adalah  $1,1 - 1,3 \text{ g cm}^{-3}$  dengan kandungan pori tanah  $>40\%$  sedangkan

berat isi tanah mineral sekitar  $1,0 - 1,6 \text{ g.cm}^{-3}$  dan berat isi tanah organik sekitar  $1,0 \text{ g cm}^{-3}$  (Wolf dan Synder, 2003). Berat isi tanah dipengaruhi oleh tekstur tanah, struktur tanah dan bahan organik. Tanah dengan tekstur liat memiliki berat isi yang kecil dan tekstur berpasir memiliki berat isi yang lebih besar (Osman, 2013).

Pergerakan akar tanaman akan terhambat pada berat isi tanah yang tinggi. Akar tanaman akan kesulitan menembus tanah padat dengan berat isi  $1,5 - 1,6 \text{ g cm}^{-3}$  dan pergerakan akar akan lambat ataupun terhenti pada tanah dengan berat isi  $1,7 - 1,9 \text{ g cm}^{-3}$  (Thompson dan Troch, 1978 dalam Wolf dan Synder, 2003).

### 2.5.3 Berat Jenis Tanah

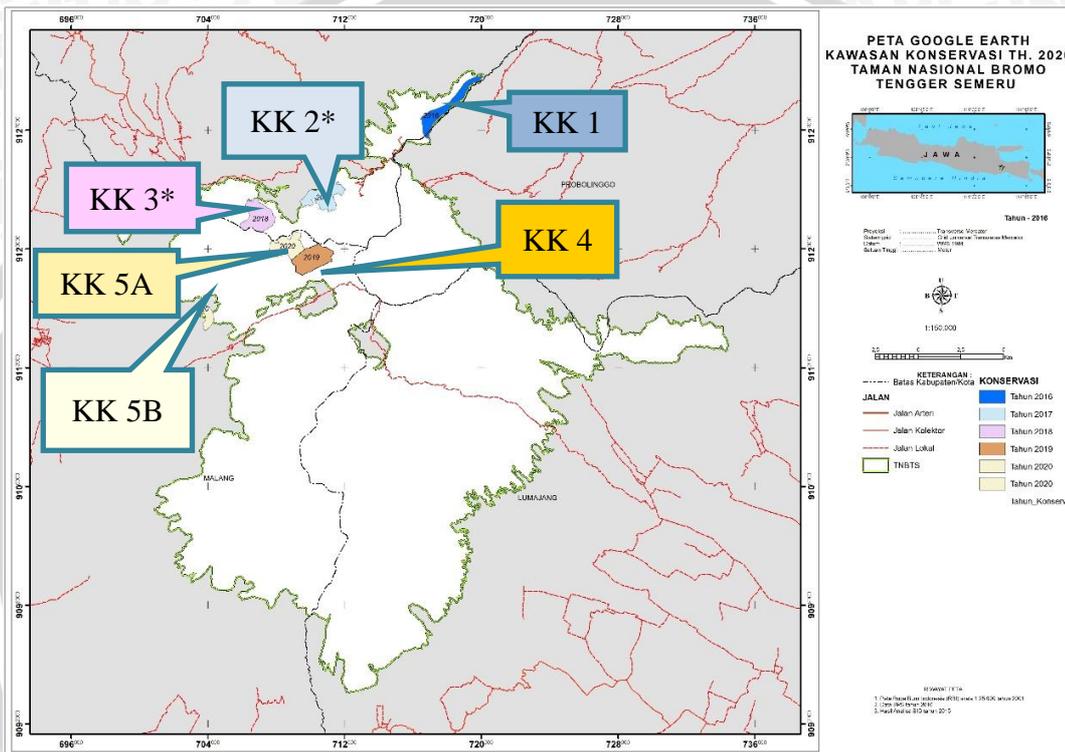
Perbandingan antara berat total dari padatan tanah dan volume padatan disebut berat jenis tanah (BJ). Komposisi mineral dan bahan organik yang beragam pada setiap jenis tanah akan mempengaruhi nilai dari berat jenis tanahnya (Kurnia *et al.*, 2006). Penentuan berat jenis tanah digunakan untuk mengetahui nilai porositas total dari tanah. Nilai porositas total tersebut didapatkan dari perhitungan data berat jenis tanah dan berat isi tanah (Tolaka *et al.*, 2013).

Menurut penelitian Arifin (2011), tanah hutan memiliki nilai berat jenis yang lebih kecil jika dibandingkan dengan tanah pertanian yaitu  $2,75 \text{ gcm}^{-3}$  untuk tanah pertanian dan  $2,51 \text{ g cm}^{-3}$  untuk tanah hutan. Hal tersebut disebabkan oleh masukan bahan organik yang lebih banyak pada tanah hutan sehingga nilai berat jenisnya lebih rendah. Tanah hutan yang memiliki berat jenis yang rendah juga akan mempengaruhi peningkatan nilai porositas. Pada umumnya tanah mineral memiliki nilai berat jenis rata - rata sekitar  $2,65 \text{ g cm}^{-3}$  (Agus dan Setiari, 2006).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

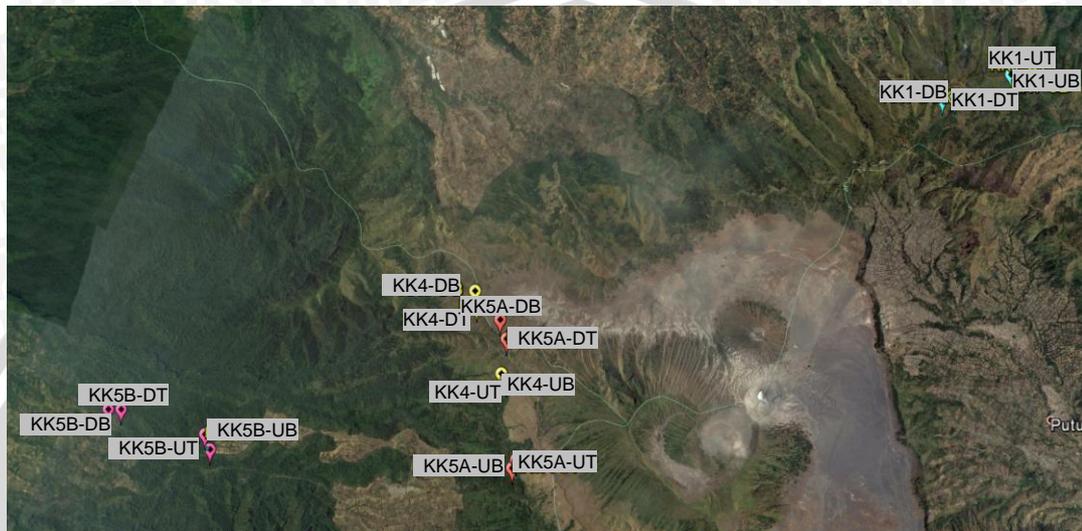
Kegiatan inventarisasi flora di kawasan hutan TNBTS selama 4 bulan (September – Desember 2016) yang dilakukan pada empat lokasi berbeda (Gambar 7) yang terletak pada wilayah kerja Resort PTN Gunung Pananjakan dan RPTN Coban Trisula dengan geoposisi dari plot perwakilan (Lampiran 1).



Gambar 7. Peta Google Earth Kawasan Konservasi (KK) di kawasan TNBTS tahun 2016 –2020 (Ket.\* : tidak diamati)(Sumber: Tim Peneliti UB-TNBTS, 2016)

Wilayah seluas 385 Ha tersebut teridentifikasi sebagai zona rehabilitasi kawasan konservasi (KK) TNBTS. Sesuai dengan Surat Direktur Konservasi Kawasan No. 382 tanggal 7 Februari 2016, bahwa sekitar 1260 ha dari kawasan tersebut perlu direstorasi pada tahun 2016 – 2020 di enam kawasan konservasi. Kegiatan restorasi di awali dengan kajian data dasar (*baseline*) melalui inventarisasi flora dan fauna (cacing tanah), cadangan karbon dan sifat - sifat tanahnya. Pengukuran dan pengamatan variabel penelitian dilakukan pada dua jenis hutan yaitudi kawasan hutan degradasi dan kawasan hutan utuh sebagai kontrol (pembanding).

Kegiatan penelitian dilakukan pada empat dari enam kawasan konservasi yaitu Kawasan konservasi 1 (KK1), kawasan konservasi 4 (KK4), kawasan konservasi 5A (KK5A) dan kawasan konservasi 5B (KK5B) di hutan degradasi lereng bawah (DB) dan lereng tengah (DT) lalu dibandingkan dengan hutan utuh lereng bawah (UB) dan lereng tengah (UT) yang disajikan pada Gambar 8.

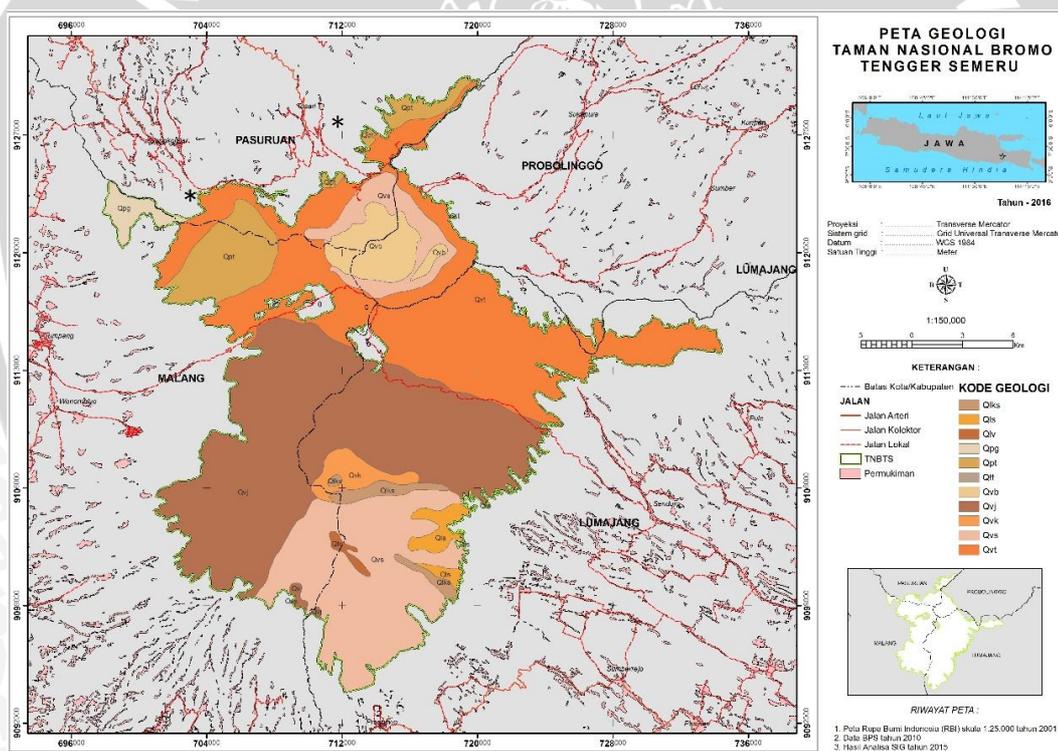


Gambar 8. Lokasi penelitian pada Kawasan Konservasi TNBTS

KK1 terletak pada RPTN Gunung Pananjakan dimana hutan degradasi pada kawasan konservasi terbentuk akibat kebakaran hutan dan telah diadakan restorasi kawasan pada tahun 2016. KK2, dan KK3 terletak pada RPTN Gunung Pananjakan, sedangkan KK4, dan KK5A terletak pada RPTN Coban Trisula. Hutan degradasi pada keempat kawasan tersebut terbentuk akibat aktivitas vulkanis dari Gunung Bromo (gas belerang dan debu vulkanis). KK5B merupakan kawasan konservasi yang terletak pada RPTN Coban Trisula, dimana penyebab terdegradasinya hutan adalah adanya alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian semusim. Penelitian hanya dilakukan pada empat dari enam kawasan konservasi tersebut, karena pada saat akan dilakukannya pengamatan di dua kawasan yaitu KK2 dan KK3, aktivitas dari Gunung Bromo meningkat. Hal itu menyebabkan faktor cuaca, gas belerang serta debu vulkanis meningkat yang dikhawatirkan dapat membahayakan peneliti.

### 3.2 Kondisi Umum Wilayah

Secarageografis kawasan TNBTS terletak antara 7°54'-8°13' lintang Selatan dan 112°51'-113°04' Bujur Timur, dengan luas sekitar 50.276,2 km. Kawasan TNBTS berada pada empat kabupaten yaitu Lumajang (Timur dan Selatan), Malang (Barat dan Selatan), Pasuruan dan Probolinggo (Utara). Suhu udara berkisar antara 3° - 20° C. Memiliki curah hujan rata – rata 6.600 mm/tahun dengan ketinggian tempat 750 – 3676 m. TNBTS memiliki kompleks area seluas sekitar 50.276 Ha di wilayah pegunungan, meliputi tiga lanskap terkenal yaitu Gunung Bromo, Kaldera Tengger dan Gunung Semeru. Kriteria tingkat kekritisn lahan di kawasan TNTBS terbagi menjadi empat yaitu lahan kritis, agak kiritrs, potensial dan tidak kritis dengan luasan 2.361 Ha merupakan lahan kritis, 30.861 ha lahan agak kritis, 14.447 Ha lahan potensial dan 1.447 Ha lahan tidak kritis.



Gambar 9. Peta geologi Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (Ket:\* : tidak diamati) (Sumber: Tim Peneliti UB-TNBTS, 2016)

Berdasarkan Peta Geologi TNBTS (Gambar 9), kawasan konservasi 1 dan 2 (KK1 dan KK2) berada di lereng kompleks Pegunungan Tengger dengan batuan endapan Gunungapi Tengger (Qvt). Keempat lokasi lainnya yaitu kawasan

konservasi 3, 4, 5A dan 5B (KK3 - KK5B) yang berada pada lereng Gunung Cemara dengan relief pegunungan. Memiliki kelerengan senilai 15 - 60% dengan jenis batuan endapan tuff (Opt) dan jenis tanah Typic Dystrudepts. Jenis tanah pada KK1 adalah Andisol sedangkan pada KK4, KK5A dan KK5B didominasi oleh tanah Inceptisol.

### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.2.1. Alat

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Alat Penelitian

No.	Nama Alat	Fungsi
1	Kamera	Untuk mendokumentasikan hasil penelitain
2	Hand penetrometer	Untuk mengukur ketahanan penetrasi tanah
3	Blok besi	Untuk mengambil contoh tanah
4	Peta kerja	Untuk mengetahui lokasi penelitian
5	Kompas	Untuk mengetahui arah plot pengamatan
6	GPS	Untuk menetapkan titik pengamatan
7	Meteran	Untuk mengukur plot dan DBH
8	Alat-alat laboratorium	Untuk menguji contoh tanah
9	Alat tulis dan Form pengamatan (tally sheet)	Untuk mencatat hasil penelitian
10	Tali rafia	Untuk membuat plot pengamatan

#### 3.2.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan untuk kegiatan penelitian ini antara lain:

Tabel 2. Bahan Penelitian

No.	Nama Alat	Fungsi
1	Aquades	Untuk pengamatan tekstur tanah di lapang
2	Contoh Tanah	Untuk mengukur sifat fisik dan kimia tanah

### 3.4 Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan. Terdapat 4 tahapan penelitian yaitu:

1. Survey lokasi dan titik pengamatan
2. Menentukan plot pengamatan pada hutan degradasi dan hutan utuh kawasan TNBTS di dua topografi yaitu lereng bawah dan lereng tengah
3. Pengukuran beberapa variabel yang relevan di wilayah yang terpilih sebagai perwakilan
4. Analisis data, analisis hubungan antar variabel pengamatan, identifikasi floristik serta penulisan laporan akhir

### 3.5 Variabel Pengamatan

Tabel 3. Variabel pengamatan penelitian

Aspek	Pengamatan	Satuan	Metode
Flora	a. Indeks Nilai Penting (INP)	%	Identifikasi Flora
	b. Indeks Keanekaragaman Jenis (H')		Indeks Shannon-Weiner
	c. Indeks Kekayaan Jenis (R)		Indeks Margalef
	d. Indeks Kemerataan Jenis (E)		Indeks Evenness
Tanah	a. Tekstur Tanah	%	Hydrometer
	b. Berat Isi Tanah	g cm <sup>-3</sup>	Gravimetri
	c. Berat Jenis Tanah	g cm <sup>-3</sup>	Piknomete
	d. Penetrasi Tanah	MPa	Hand penetrometer
	e. Porositas Tanah	%	Imbibisi
	f. pH H <sub>2</sub> O dan pH KCl		<i>Glass Electrode</i>
	g. C-organik	%	<i>Walkley and Black</i>

### 3.6 Metode Pelaksanaan

#### 3.6.1 Survei Lokasi Pengamatan

Kegiatan awal yang dilakukan untuk menentukan plot pengamatan adalah survey lapangan untuk meninjau lokasi pengamatan dan menentukan titik yang pengamatan. Kondisi aktual lokasi penelitian baik pada hutan degradasi dan hutan utuh pada ke empat kawasan konservasi (KK1, KK4, KK5A, KK5B) disajikan dalam Gambar 10. Terlihat pada gambar perbedaan dari struktur dan komposisi flora yang terdapat pada hutan degradasi dan hutan utuh pada setiap lokasi.



Gambar 10. Kondisi lokasi penelitian (KK1, KK4, KK5A, KK5B) pada hutan utuh dan hutan degradasi

### 3.6.2 Strategi Penentuan Plot Pengamatan

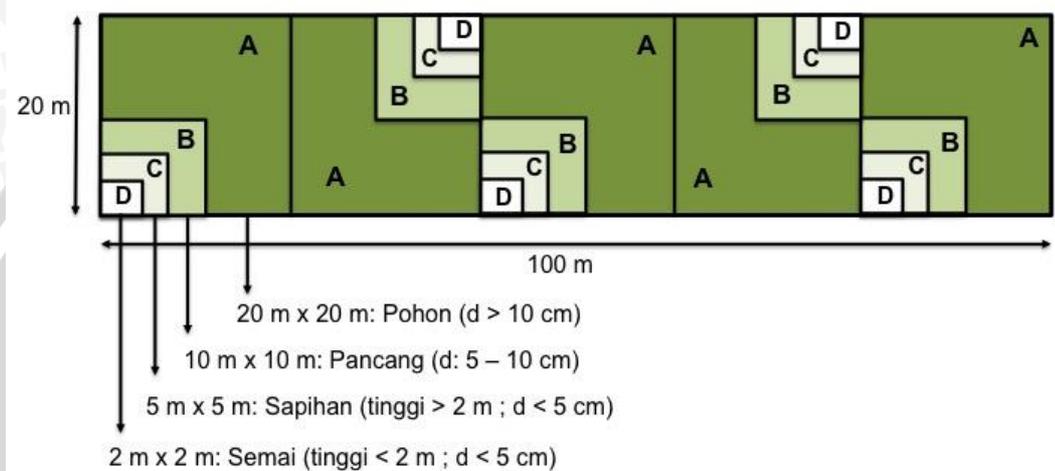
Dalam penentuan plot pengamatan dan inventarisasi keanekaragaman flora digunakan metode kombinasi antara metode jalur dengan metode garis berpetak (Fahmi, 2015). Kegiatan diawali dengan pemilihan plot pengukuran pada masing – masing lokasi pengamatan. Rancangan yang digunakan adalah rancangan tersarang (*Nested Sampling Design*) dengan 3 faktor sumber keragaman (SK) yaitu jenis hutan, kelerengan dan kedalaman tanah (0 - 10 cm; 10 - 20 cm dan 20-30 cm) dan 4 kali ulangan (KK1, KK4, KK5A, dan KK5B). Plot pengamatan memiliki luas 20 x 100 m dengan jarak tiap titik pengamatan adalah 50 m. Inventarisasi flora dan pengambilan contoh tanah dilakukan di 4 kawasan konservasi pada 4 lokasi di hutan degradasi yang dibandingkan dengan 4 lokasi hutan utuh dengan 2 kelerengan (lereng tengah dan lereng bawah). Total plot berjumlah 16 plot pengamatan, dimana terdapat 8 plot pada tiap jenis hutan (Tabel 4). Untuk pengambilan contoh tanah dilakukan pada 3 kedalaman (0 - 10 cm; 10 - 20 cm; 20 - 30 cm) pada seluruh plot pengamatan, sehingga total contoh tanah yang diambil berjumlah 48 contoh (16 plot x 3 kedalaman tanah).

Tabel 4. Pembuatan plot pengamatan

Kode lokasi	Tahun	Jenis Hutan	Lereng
1. KK 1	2016	1. Degradasi	1. Bawah 2. Tengah
		2. Utuh	1. Bawah 2. Tengah
2. KK 4	2018	1. Degradasi	1. Bawah 2. Tengah
		2. Utuh	1. Bawah 2. Tengah
3. KK 5A	2019	1. Degradasi	1. Bawah 2. Tengah
		2. Utuh	1. Bawah 2. Tengah
4. KK 5B	2019	1. Degradasi	1. Bawah 2. Tengah
		2. Utuh	1. Bawah 2. Tengah

### 3.6.3 Pembuatan Plot Pengamatan dan Inventarisasi Flora

Pengamatan dilakukan pada 4 stadia pertumbuhan flora, yaitu stadia semai, sapihan, pancang dan pohon. Pengamatan stadia pohon menggunakan plot contoh dengan ukuran 20 m x 100 m dengan pengamatan keanekaragaman spesies pohon menggunakan metode jalur. Tiap plot berjarak 50 m vertikal searah jalur. Petak besar (Petak A) tersebut digunakan untuk mengukur tumbuhan dengan diameter >10 cm. Selanjutnya untuk pengamatan stadia Pancang, Sapihan, dan Semai menggunakan metode garis berpetak (line plot sampling).



Gambar 11. Skema plot pengamatan sebaran flora

Berikut adalah detail skema plot pengamatan untuk mengamati keanekaragaman hayati:

1. Petak Besar (Petak A) berukuran 20 m x 20 m yang digunakan untuk mengukur tegakan dengan diameter  $>10$  cm berupa tumbuhan stadia pohon
2. Sub petak A (Petak B) berukuran 10 m x 10 m untuk mengukur tegakan dengan diameter 5 – 10 cm berupa tumbuhan stadia pancang
3. Sub petak B (Petak C) berukuran 5 m x 5 m untuk mengukur tegakan dengan diameter  $> 5$  cm dan tinggi  $> 2$  m berupa tumbuhan stadia sapihan
4. Sub petak C (Petak D) berukuran 2 m x 2 m untuk mengukur tegakan dengan tinggi  $< 2$  m berupa tumbuhan anakan atau semai.

### 3.6.4 Pengambilan Contoh Tanah dan Analisis Tanah

Pengambilan contoh tanah terdiri atas dua jenis, yaitu contoh tanah utuh (tidak terganggu) dan contoh komposit. Pengambilan contoh tanah utuh (tidak terganggu) diambil pada titik pengamatan dalam sub plot berukuran 40 m x 5 m dengan tiga kedalaman yaitu kedalaman 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, dan 20 – 30 cm dan menggunakan blok besi 20x20x10 cm<sup>3</sup>. Contoh tanah tersebut digunakan untuk pengamatan parameter sifat fisik tanah yaitu berat isi (BI). Tanah ditimbang berat basahnya saat di lapangan, lalu diambil subsampelnya, ditimbang kembali dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 1 x 24 jam.

Selanjutnya, pengambilan contoh tanah komposit diambil pada kedalaman 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 30 cm. Contoh tanah tersebut dikompositkan (dicampur) rata perkedalaman, lalu dikering anginkan untuk menganalisis beberapa parameter sifat kimia tanah yaitu pH, dan C-organik serta parameter sifat fisik tanah yaitu tekstur, dan berat jenis tanah.

### 3.6.5 Pengukuran Variabel

#### 3.6.5.1 Flora

##### a. Identifikasi Floristik

Setelah membuat plot pengamatan, langkah selanjutnya yang harus dilakukan adalah hasil inventarisasi tumbuhan ditabulasi, di dokumentasi dan diidentifikasi di Laboratorium Biologi Tanah, FP – UB, Malang. Identifikasi flora dilakukan dengan beracuan pada laporan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Hakim dan Miyakawa, 2013; Hariyati dan Hakim, 2012; Hariyati *et al.*, 2013) serta dari sumber buku *The Mountain Flora of Java* (Van Steenis, 2006) dan buku panduan lapangan jenis - jenis tumbuhan restorasi (JICA, 2014).

##### b. Analisis Vegetasi

Data jenis vegetasi yang diperoleh selanjutnya diolah dan di analisis menurut prosedur kerja pemantauan flora di kawasan lindung (WWF, 2006) diantaranya menghitung data:

- 1) Kerapatan (K)  $= \frac{\text{Jumlah individu}}{\text{Luas contoh h}}$
- 2) Kerapatan Relatif (KR)  $= \frac{K.dari\ suatu\ jenis}{K.dari\ seluruh\ h\ jenis} \times 100\%$
- 3) Frekuensi (F)  $= \frac{\sum \text{Plot\ diketemukan\ jenis}}{\sum \text{seluruh\ h\ plot}}$
- 4) Frekuensi Relatif Jenis (FR)  $= \frac{F.dari\ suatu\ jenis}{F.dari\ seluruh\ h\ jenis} \times 100\%$
- 5) Dominasi (D)  $= \frac{\text{Jumlah\ h\ Luas\ Bidang\ Dasar\ Suatu\ Jenis}}{\text{Luas\ Petak\ Contoh\ h}}$
- 6) Dominasi Relatif (DR)  $= \frac{\text{Dominasi\ suatu\ jenis}}{\text{Dominasi\ seluruh\ h\ jenis}} \times 100\%$
- 7) Luas Bidang Dasar (LBDS)  $= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$

Keterangan :  $\pi = 3,14$        $d =$  diameter pohon setinggi 1,3 m

Dalam melakukan analisis vegetasi, data yang diperoleh berbeda – beda pada tiap petaknya. Pada Petak A (pohon), Petak B (pancang) dan Petak C (Sapihan) diperoleh data diameter pohon (dbh), jenis tanaman, dan jumlah individu. Lalu, pada Petak D (anakan) data yang diperoleh adalah jumlah individu dan jenis tanaman. Seluruh data tersebut akan dianalisis untuk mengetahui frekuensi, kerapatan, dan INP (Indeks Nilai Penting) pada tiap vegetasi di setiap plot pengamatan.

### c. Keanekaragaman Jenis Vegetasi

Nilai Keanekaragaman jenis vegetasi diperoleh melalui perhitungan beberapa nilai indeks diantaranya adalah Indeks Nilai Penting, Indeks Keanekaragaman jenis, Indeks kekayaan jenis dan Indeks Kemerataan Jenis.

#### 1. Indeks Nilai Penting (INP)

INP memiliki peran sebagai nilai yang digunakan untuk mengetahui dominasi jenis, frekuensi jenis (sebaran masing – masing jenis) dan kerapatan jenis. Selanjutnya dilakukan perhitungan Indeks Keragaman Jenis dan Indeks Kemerataan Jenis. Menurut Mueller – Dumbois – Ellenberg (1974) dalam Aqla dan Naemah, 2010), Indeks Nilai Penting dihitung menggunakan rumus:

$$INP = KR + DR + FR$$

Keterangan:

INP = Indeks Nilai Penting (%)

INP Sapihan ( $t > 2m$  dan  $d < 5 cm$ ) dan Semai ( $t < 2 m$ ) =  $KR + FR$

INP Pohon ( $d > 10 cm$ ) dan Pancang ( $d = 5 - 10 cm$ ) =  $KR + FR + DR$

KR = Kerapatan Relatif (%)

DR = Dominasi Relatif (%)

FR = Frekuensi Relatif (%)

Berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan No. 200/Kept-IV/1994 menyatakan Kriteria INP ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Kriteria INP Vegetasi

INP Pohon (%)	INP Semai/Pancang/Tiang (%)	Kriteria
> 240	>160	Sangat baik
180 – 239	120 – 159	Baik
120 – 179	80 – 119	Cukup
60 – 119	40 – 79	Kurang
< 60	< 40	Sangat Kurang

## 2. Indeks Keanekaragaman Jenis ( $H'$ )

Keanekaragaman jenis pada berbagai tingkat tutupan lahan yang berbeda didapatkan dari perhitungan jumlah tiap individu suatu jenis tanaman dalam Petak A, Petak B, Petak C dan Petak D dari masing – masing Plot Contoh Pengamatan (PCP). Indeks Keanekaragaman Jenis dihitung menggunakan Shannon Index, sebagai berikut:

$$H' = - \sum_{n=1}^n \left(\frac{ni}{N}\right) \ln \left(\frac{ni}{N}\right)$$

Keterangan:

$H'$  = Indeks Keanekaragaman Shannon (Shannon Index of Diversity)

N = Jumlah total individu

$N_i$  = Jumlah spesies ke -1

ln = Logaritma natural

Kriteria indeks keanekaragaman jenis tanaman ditampilkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Kriteria Indeks Keanekaragaman Jenis Shanon - Wiener

Indeks Keanekaragaman Jenis	Kriteria
$H' < 1$	Rendah
$1 < H' < 3$	Sedang
$H' > 3$	Tinggi

### 3. Indeks Kekayaan Jenis (R)

Indeks Kekayaan Jenis merupakan nilai jumlah total individu pada tiap spesies. Untuk mengetahui kekayaan jenis pada suatu habitat digunakan perhitungan Indeks Kekayaan Margalef (1958) sebagai berikut :

$$R = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Keterangan:

R = Indeks Margalef (indeks kekayaan jenis)

S = Jumlah Jenis

N = Jumlah total individu

Ln = Logaritma natural

Kriteria indeks kekayaan jenis tanaman ditampilkan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Kriteria Indeks Kekayaan Jenis

Indeks Kekayaan Jenis	Kriteria
$R < 3.5$	Rendah
$3.5 < R < 5$	Sedang
$R > 5$	Tinggi

### 4. Indeks Kemerataan Jenis (E)

Indeks Kemerataan Jenis merupakan nilai yang digunakan untuk menentukan merata atau tidaknya pendistribusian tumbuhan dalam satu stadia pertumbuhan. Untuk mengetahui suatu struktur pendistribusian komunitas pohon dalam plot penelitian digunakan perhitungan Indeks Evennes (Odum, 1996) sebagai berikut:

$$E = \frac{H'}{\ln(S)}$$

Keterangan:

E = Indeks Kemerataan jenis

H' = Indeks Keanekaragaman Jenis

S = Jumlah Jenis yang ada

Kriteria Indeks Kemerataan Jenis ditampilkan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Indeks Kemerataan Jenis

Indeks Kemerataan Jenis	Kriteria
$E < 0,3$	Rendah
$E = 0,3 - 0,6$	Sedang
$E > 0,6$	Tinggi

### 3.6.5.2 Tanah

#### 1. Analisis Kepadatan Tanah

Tanah terdegradasi merupakan tipikal tanah dengan beberapa kriteria diantaranya adalah memiliki kepadatan yang tinggi. Tanah yang memiliki kepadatan lebih tinggi ditandai dengan ketahanan penetrasi yang tinggi, jumlah pori makro yang rendah, diikuti dengan kandungan bahan organik tanah (BOT) rendah yang berdampak pada kerapatan dan jumlah jenis cacing tanah yang rendah (FAO, 2015 ; Hairiah *et al.*, 2014 ; Suprayogo *et al.*, 2004). Parameter dalam pengukuran kepadatan tanah tidak hanya tentang porositas, ataupun berat isi selain itu ada pengukuran daya penetrasi akar (ketahanan penetrasi).

#### a. Uji Ketahanan Penetrasi dengan Penetrometer

Alat hand penetrometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kepadatan tanah (Smith dan Mullins, 2001). Besarnya nilai ketahanan penetrasi pada hand penetrometer dilihat dari nilai yang tertera pada alat tersebut dalam satuan MPa (Mega pascal). Pada tiap plot terdiri atas 5 titik pengamatan yang berukuran 50 x 50 cm. Pengukuran pada tiap plot dilakukan dengan cara menusukkan alat *hand penetrometer* pada 3 kedalaman tanah, yaitu 0 - 10 cm, 10 - 20 cm dan 20 - 30 cm, dilakukan sebanyak 10 kali dengan sudut 90°(arah vertikal). Selanjutnya, dilakukan pembuatan minipit dengan ukuran 60 x 60 m lalu

alat *hand* penetrometer ditusukkan ke arah horizontal pada tiap horizon yang ditemukan dan di lakukan sebanyak 10 kali.

#### b. Perhitungan Berat Isi Tanah (dengan Metode Gravimetri)

Contoh tanah utuh yang diambil dalam blok besi di timbang terlebih dahulu lalu dikeluarkan dari blok contoh. Volume total tanah diukur dengan menghitung volume blok besi lalu menimbang berat blok besi. Selanjutnya, pengambilan sub contoh tanah dari blok besi dan taruh sub contoh tanah di dalam cawan yang ditimbang terlebih dahulu. Kemudian, cawan yang berisi tanah ditimbang dan di oven 110°C selama 24 jam. Subcontoh tanah yang ditimbang dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$BI = \frac{Mp}{Vt} = \frac{Mt/(1+KA)}{Vt}$$

Keterangan:

- BI = Berat isi (g cm<sup>-3</sup>)
- Mp = Massa padatan (g)
- Vt = Volume total tanah (cm<sup>3</sup>)
- Mt = Massa total (g)
- KA = Kadar air

#### c. Perhitungan Berat Jenis Tanah (dengan Metode Piknometer)

Setelah tanah di oven dengan suhu 110°C selama 24 jam, tanah dihaluskan dengan mortal lalu ditimbang sebanyak 20 g. Timbang labu ukur dahulu, masukkan tanah ke dalam labu ukur lalu timbang kembali beserta isinya. Selanjutnya, labu ukur di isi air sebanyak  $\frac{3}{4}$  dari volume labu ukur dan di kocok diatas *hot plate* sampai mendidih. Ketika udara menguap keluar, tunggu hingga suhu labu ukur menurun (dingin) lalu isi kembali dengan air sampai garis minikes. Labu ukur tersebut ditimbang lagi beserta isinya lalu hitung berat jenis tanah dengan persamaan rumus sebagai berikut:

$$BJ = \frac{Mp}{Vp} = \frac{((L + To) - L)}{100 - ((L + To + A) - (L + To))}$$

Keterangan:

- BJ = Berat jenis (g cm<sup>-3</sup>)
- Mp = Massa padatan (g)
- Vp = Volume padatan (cm<sup>3</sup>)
- L = Massa labu
- To = Massa tanah oven
- A = massa (labu + tanah oven + air)

#### d. Pengukuran Porositas Tanah

Nilai porositas tanah didapatkan dari perhitungan selisih hasil analisis berat isi (BI) dan berat jenis tanah (BJ). Nilai BI didapatkan dengan pengukuran menggunakan metode gravimetri. Nilai BJ didapatkan dengan pengukuran menggunakan metode piknometer. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan dalam perhitungan porositas tanah:

$$\% \text{ Porositas tanah} = \frac{V_t - V_p}{V_t} = \frac{V_r}{V_t}$$

Keterangan:

$V_t$  = Volume total tanah

$V_p$  = Volume padatan

$V_r$  = Volume ruang pori

#### e. Perhitungan Tekstur Tanah

Tekstur tanah dihitung dengan mengkomposit tanah pada setiap kedalaman (0 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 30 cm). Tanah tersebut kemudian diayak dengan ayakan 2 mm kemudian ditimbang sebanyak 20 g. Selanjutnya, dilakukan perhitungan tekstur tanah dengan menggunakan metode hydrometer dan persamaan berikut ini untuk mengetahui kandungan dari tiap fraksi penyusun tekstur tanah (fraksi pasir, debu dan klei).

$$\% \text{ pasir} = \frac{\text{massa pasir}}{\sum \text{massa tekstur}} \times 100\%$$

$$\% \text{ debu} = \frac{\text{massa debu}}{\sum \text{massa tekstur}} \times 100\%$$

$$\% \text{ klei} = 100 - (\% \text{debu} + \% \text{pasir})$$

## 2. Pengukuran Sifat Kimia Tanah

### a. C - Organik

Dalam melakukan pengukuran C-Organik digunakan metode Walkley dan Black lalu dilakukan analisis pedotransfer setelah nilai C-Organik total ditemukan. Analisis pedotransfer digunakan untuk mengetahui nilai karbon organik tanah terkoreksi dengan kandungan debu, liat dan pH tanah sebagai indikator sustainabilitas. Sesuai dengan perhitungan  $C_{ref}$  yang dikembangkan oleh Van Noordwijk (1997):

$$C_{\text{ref}} = (Z_{\text{contoh}}/7.5)^{-0.42} \exp (1,333+0.00994 * \% \text{ liat} + 0.00699 * \% \text{ debu} - 0.156 * \text{pH}_{\text{KCl}} + 0.000427 * H + 0.834 \text{ (jika jenis tanah andisol)} + 0.363$$

(untuk hutan rawa pada lahan basah)

Keterangan :

$Z_{\text{contoh}}$  = Kedalaman pengambilan contoh tanah (cm)

H = Ketinggian tempat (mdpl)

Tanah dengan kandungan bahan organik tanah terkoreksi ( $C_{\text{total}}/C_{\text{ref}}$ ) < 1 memiliki tingkat kesuburan yang lebih rendah dari ( $C_{\text{total}}/C_{\text{ref}}$ ) = 1 yang memiliki kesuburan tanah sama dengan hutan utuh.

### b. pH

Tingkat kemasaman tanah dapat mempengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman dan menghambat pertumbuhan tanaman. Kemasaman tanah terdiri atas dua jenis yaitu kemasaman aktif dan potensial. Pengukuran reaksi tanah (pH) dilakukan dengan menggunakan metode elektrometik. Pengukuran reaksi tanah menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{pH} = -\text{Log}(\text{H})^+$$

Menurut Mindari dan Priyadarsini (2011), pengukuran tersebut dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat pH meter dengan elektroda, botol plastik 25 ml, pengocok, beaker glass, labu ukur 1L serta gelas ukur. Adapun bahan yang digunakan adalah KCl dan Aquadest. Dalam pengukuran pH  $\text{H}_2\text{O}$ , tanah yang telah lolos ayakan 2 mm di timbang 10 g lalu di masukkan ke dalam botol plastik dan di tambahkan 10 ml aquadest. Sedangkan, dalam pengukuran pH KCl tanah yang telah lolos ayakan 2 mm di timbang 10 g lalu di masukkan ke dalam botol plastik dan ditambahkan 10 ml KCl 1N. Perbandingan antara larutan dan tanah adalah 1 : 1 atau 1 : 2,5. Kemudian, tanah di kocok dengan mesin pengocok selama 60 menit dan diukur dengan pH meter yang sudah dikalibrasi. Nilai pH memiliki rentang antara 0 - 14 dimana pH bernilai 7 adalah netral, pH < 7 adalah masam dan pH > 7 adalah alkalis.

### 3.7 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan analisis ragam (ANOVA) dengan program *GenStat 18th Edition* untuk mengetahui pengaruh sumber keragaman terhadap variabel yang diamati. Apabila dari hasil tersebut ditemukan perbedaan secara nyata ( $p < 0,05$ ) atau sangat nyata ( $p < 0,01$ ) antar parameter, maka dilanjutkan dengan uji *Duncan* taraf 5%. Selanjutnya, untuk mengetahui hubungan linear antar parameter (kepadatan tanah: ketahanan penetrasi, berat isi, porositas dan keanekaragaman flora) maka dilakukan uji korelasi dan menggunakan koefisien determinasi untuk mengetahui seberapa besar kemampuan variabel bebas dalam mempengaruhi variabel terikat (kepadatan tanah dengan keanekaragaman flora). Selanjutnya, untuk mengetahui persamaannya dapat dilakukan dengan persamaan regresi.



## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

#### 4.1.1 Tingkat Keanekaragaman Flora

Hasil penelitian yang dilakukan pada kawasan hutan utuh dan hutan degradasi di Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS) menunjukkan bahwa jumlah spesies yang ditemukan pada kedua jenis hutan memiliki perbedaan komposisi, dimana pada hutan degradasi lebih banyak ditumbuhi tanaman *invasive* sedangkan pada hutan utuh lebih banyak ditumbuhi tanaman *native*. Berdasarkan analisis vegetasi pada empat stadia pertumbuhan tanaman, yaitu stadia semai, sapihan, pancang dan pohon terdapat 96 jenis tanaman yang tergolong dalam 47 famili. Pada hutan utuh terdapat 56 jenis tanaman dan 53 jenis tanaman pada hutan degradasi dari 96 total jenis tanaman yang ditemukan di berbagai stadia pertumbuhan (Lampiran 2).

##### a. Stadia Semai

Ditinjau dari hasil analisis vegetasi pada stadia semai, ditemukan 50 jenis tanaman di hutan degradasi dan 41 jenis tanaman di hutan utuh dari total 96 jenis tanaman yang ditemukan. Jumlah jenis tanaman di hutan degradasi lebih tinggi dan didominasi oleh spesies yang dapat hidup pada kondisi kritis dan tergolong tanaman invasif. Tingkat naungan yang rendah pada hutan degradasi menyebabkan pertumbuhan tanaman stadia semai sangat cepat dan beragam. Beberapa tanaman semai yang mendominasi pada hutan degradasi seperti *Styphellia javanica* (ladingan), *Pteris sp.* (Paku - pakuan) dan *Eupatorium riparium* (tehan). Sedangkan, pada hutan utuh *Eupatorium odoratum* (triwulan), *Pilea melastomoides* (mencogan), *Macropitillum atropurpureum* (resap) yang persebarannya cukup merata pada plot pengamatan.

##### b. Stadia Sapihan

Pada stadia sapihan dari 96 total jenis tanaman di kedua hutan, ditemukan 9 jenis tanaman pada hutan degradasi dan 33 jenis tanaman pada hutan utuh. Jumlah jenis tanaman yang memiliki rentang cukup jauh pada hutan degradasi jika dibandingkan dengan hutan utuh merupakan indikasi terjadinya degradasi biodiversitas. Pada hutan degradasi stadia sapihan di dominasi oleh *Vaccinium*

*varingiaefolium*(mentigi), *Casuarina junghuhniana* (cemara gunung), *Buddleja asiatica* (putihan). Sedangkan, hutan utuh di dominasi dengan *Pilea melastomoides* (mencogan), *Eupatorium odoratum* (triwulan) serta *Pinanga coronata* (palem piji) yang ditemukan cukup merata pada kedelapan plot pengamatan.

### c. Stadia Pancang

Dari 96 total jenis tanaman yang di temukan di kawasan hutan TNBTS, diketahui 8 jenis tanaman yang termasuk stadia pertumbuhan pancang pada hutan degradasi dan 14 jenis tanaman pada hutan utuh. Pada hutan degradasi didominasi oleh jenis *Vaccinum varingiaefolium*(mentigi), *Musa paradisiaca* (pisang), dan *Paraserianthes lophanta* (kemlandingan) dimana jenis tanaman tersebut cukup adaptif pada kondisi terdegradasi (kritis) ataupun pada kawasan yang terganggu oleh aktivitas antropogenik. Sedangkan, pada hutan utuh didominasi oleh jenis tanaman *native Pinanga coronata* (palem piji), *Sauraiia pendula* (ki leho) dan *Acacia decurrens* (akasia) yang termasuk tanaman restorasi jenis *invasive*.

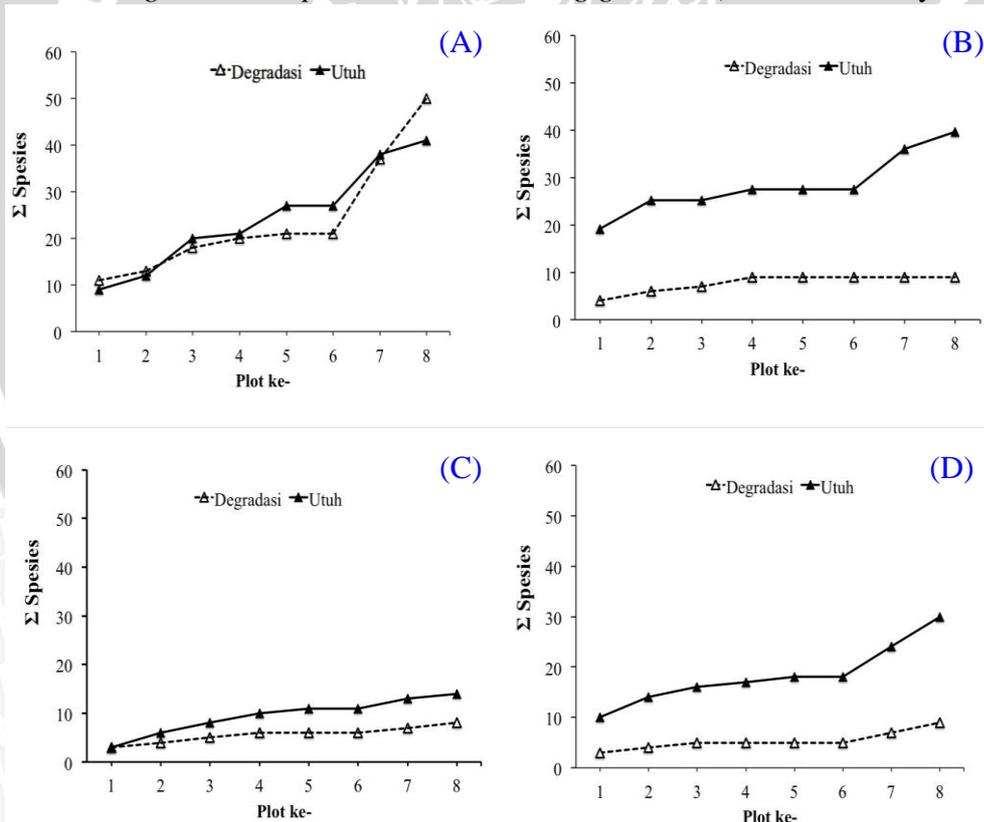
### d. Stadia Pohon

Pada stadia pohon, ditemukan 7 jenis tanaman pada hutan degradasi dan 21 jenis tanaman pada hutan utuh. Pada hutan degradasi memiliki jenis dominansi spesies yang sama yaitu *Vaccinum varingiaefolium*(mentigi), *Musa paradisiaca* (pisang), dan *Paraserianthes lophanta* (kemlandingan). Sedangkan, pada hutan utuh di dominasi oleh tanaman *Acacia decurrens* (akasia), *Casuarina junghuhniana* (cemara gunung), *Trema orientalis* (anggrung) yang persebarannya cukup merata pada kawasan hutan TNBTS.

Berdasarkan hasil penelitian Hakim dan Miyakawa (2015), tanaman pada hutan degradasi kawasan TNBTS didominasi oleh jenis asing (*invasive*). Beberapa jenis tanaman *invasive* yang ditemukan di TNBTS diantaranya adalah *Salvinia molesta* D.S. Mitch., *Acacia decurrens* Willd., *A. mangium* Willd., *Eupatorium inulifolium* Kunth., *Eupatorium riparium* Regel, *Solanum pseudocapsicum* Medik., *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng., *Lantana camara* L., dan *Fuchsia magellanica* Lam. Hal tersebut sesuai dengan hasil analisis vegetasi dimana ditemukannya beberapa jenis tanaman invasif seperti *Acacia decurrens*, dan *Eupatorium riparium* pada plot pengamatan baik pada stadia

semai, pancang dan juga pohon. Tanaman invasif merupakan spesies asing (bukan spesies lokal) yang mampu beradaptasi dengan baik, tumbuh dan menyebar dengan cepat dari spesies asli pada suatu habitat baru. Tanaman ini dapat menyebabkan gangguan dan dampak negatif bagi kesehatan manusia, ekonomi, lingkungan dan dapat menghilangkan spesies asli pada suatu habitat (Campbell, 2005; Sunaryo *et al.*, 2012).

Untuk menghindari kepunahan spesies *native* pada ekosistem hutan pegunungan di kawasan TNBTS dapat dilakukan kegiatan restorasi dengan memanfaatkan beberapa tanaman yang memiliki potensi untuk ditanam kembali seperti *Acer laurinum*, *Acmena acuminatissima*, *Casuarina junghuhniana*, *Dacrycarpus imbricatus*, *Engelhardtia spicata*, *Myrsine korthalsii*, *Lithocarpus sundaicus*, *Lithocarpus korthalsii*, *Macropanax dispernum*, *Trema orientalis*, *Turpinia sphaerocarpa*, *Omalanthus giganteus*, and *Astronia spectabilis*; *Engelhardtia spicata*, *Omalanthus giganteus* (Hakim dan Miyakawa,



2013).

Gambar 12. Jumlah kumulatif jenis tanaman perstadia yang ditemukan pada hutan degradasi dan hutan utuh: (A) Semai, (B) Sapihan, (C) Pancang, (D)

Pohon (Keterangan: Luas plot tiap lokasi = 2000 m<sup>2</sup>, maka 8 lokasi = 16.000 m<sup>2</sup>)

Berdasarkan data jumlah kumulatif jenis tanaman yang ditampilkan dalam Gambar 12, bahwa adanya peningkatan luasan plot pengamatan masih diperoleh peningkatan jumlah jenis tanaman yang ditemukan. Pada pengamatan ini, luasan per plot pengamatan adalah 2000 m<sup>2</sup>, sehingga total luasan plot pengamatan ada 16.000 m<sup>2</sup>. Peningkatan jumlah jenis tanaman yang ditemukan menunjukkan bahwa luasan lahan untuk eksplorasi jenis tumbuhan ini masih belum cukup. Nilai kumulatif jenis tanaman tersebut terus bertambah pada ke empat stadia terutama pada kawasan hutan utuh. Namun demikian, mengingat tingkat kesulitan medan dan kondisi lingkungan yang dekat dengan kaldera Gunung Bromo yang sering mengeluarkan gas belerang yang mengganggu kesehatan, dan hujan yang sering turun sehingga aktivitas pengamatan menjadi lebih terbatas.

#### 4.1.1.2 Indeks Nilai Penting (INP) di Hutan TNBTS

Indeks nilai penting merupakan parameter seberapa besar peran suatu spesies dalam komunitasnya. Spesies tanaman yang memiliki INP lebih besar menunjukkan kemampuan adaptasinya dengan lingkungannya yang baik sehingga tingkat penguasaan terhadap suatu komunitas semakin besar (Ismaini *et al.*, 2015). Perhitungan Indeks Nilai Penting (INP) dilakukan pada empat stadia pertumbuhan yaitu semai, sapihan, pancang dan pohon dengan dua jenis hutan yaitu hutan utuh dan degradasi di empat lokasi pengamatan (KK1- KK5B) dan disajikan dalam Gambar 13.

##### a. Stadia Semai

Di hutan degradasi terlihat bahwa spesies yang memiliki nilai INP tertinggi dari 4 Kawasan Konservasi (KK) adalah *Styphellia javanica* (ladingan) dengan nilai 85%, diikuti oleh tanaman *Selligueia feidengan* nilai 75% dan tanaman *Pteris sp.* (Paku - pakuan) INP rata-rata 71%. Untuk tanaman *S.javanica* termasuk dalam kelas INP cukup, dimana jumlah individu cukup banyak dalam suatu LBD (Luas Bidang Dasar), relatif menyebar dan adaptif terhadap lingkungan tumbuhnya.

Sedangkan, di hutan utuh stadia semai di dominasi oleh tanaman *Eupatorium riparium* (tehan) dengan nilai INP tertinggi yaitu 105% diikuti oleh tanaman *Pilea melastomoides* (mencogan) dengan nilai 57% dan tanaman *Macroptilium atropurpureum* (resap) dengan nilai 55%. *Eupatorium riparium* merupakan jenis tanaman eksotik (Steenis, 2006) yang memiliki waktu pertumbuhan yang relatif cepat, terutama di bagian hutan yang agak terbuka karena gangguan manusia sehingga tanaman mendapat intensitas matahari yang cukup tinggi. Tanaman tersebut dapat tumbuh dengan mudah dan cepat karena memiliki daya saing yang tinggi dan berkemampuan lebih tinggi untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang baru, sehingga *Eupatorium* dapat hidup pada berbagai kondisi baik kondisi normal hingga kondisi kritis (Heyne, 1987 dalam Hakim dan Miyakawa 2013 ; Odum, 1993).

#### **b. Stadia Sapihan**

Pada hutan degradasi nilai INP tertinggi ditunjukkan oleh tanaman *Vaccinium varingiaefolium* (mentigi) dengan nilai 147% diikuti oleh tanaman *Buddleja asiatica* (putihan) dengan nilai 84% dan tanaman *Casuarina junghuhniana* (cemara gunung) dengan nilai 75% (Gambar 13). Jenis tanaman yang ditemukan mendominasi tersebut sesuai dengan hasil dari penelitian Hakim (2011) yang mengatakan bahwa pada hutan pegunungan dengan ketinggian 1800 - 3000 mdpl biasanya didominasi oleh jenis pohon *Casuarina junghuhniana*, dan *Acacia decurrens*, dan jenis perdu *Vaccinium sp.* Tanaman *C. junghuhniana* merupakan tanaman restorasi yang tahan terhadap api dan merupakan spesies pioner pada hutan terdegradasi, lahan berpasir dan yang terkena debu vulkanis. Selain itu tanaman ini dapat tumbuh dengan cepat (*fast growing trees*) (Hakim dan Miyakawa, 2013).

Sedangkan pada hutan utuh, nilai INP tertinggi dimiliki oleh tanaman *Pilea melastomoides* (mencogan) dengan nilai 146% diikuti oleh *Eupatorium odoratum* (triwulan) dengan nilai 128% dan *Pinanga coronata* (palem piji) nilai 57%. Terlihat bahwa pada hutan utuh terdapat intervensi dari spesies asing invasif yang memiliki INP kategori cukup mendominasi pada plot pengamatan yaitu *Eupatorium odoratum* (triwulan). Menurut Hariyati dan Hakim (2012), tanaman

ini merupakan salah satu tanaman invasif yang jumlahnya melimpah di kawasan TNBTS dan memiliki daya kompetisi dan adaptasi yang tinggi.

### c. Stadia Pancang

Hasil analisis vegetasi menunjukkan bahwa INP stadia pancang pada hutan degradasi yang tertinggi dimiliki oleh tanaman *Musa paradisiaca* (pisang) dengan nilai 252% diikuti oleh tanaman *Vaccinium varingiaefolium* (mentigi) dengan nilai 236% dan tanaman *Paraserianthes lophanta* (kemlandingan) dengan nilai 174%. Ketiga tanaman tersebut tergolong ke kelas sangat baik dimana jumlah individu banyak dan merata, LBD relatif luas dan adaptif dengan lingkungannya. Sedangkan, pada hutan utuh nilai INP tertinggi dan tergolong kelas sangat baik dimiliki oleh tanaman *Pinanga coronata* (palem piji) dengan nilai 193% diikuti oleh tanaman *Sauria pendula* (Ki leho) dengan nilai 177% dan tanaman *Acasia decurrens* (Akasia) dengan nilai 170%.

### d. Stadia Pohon

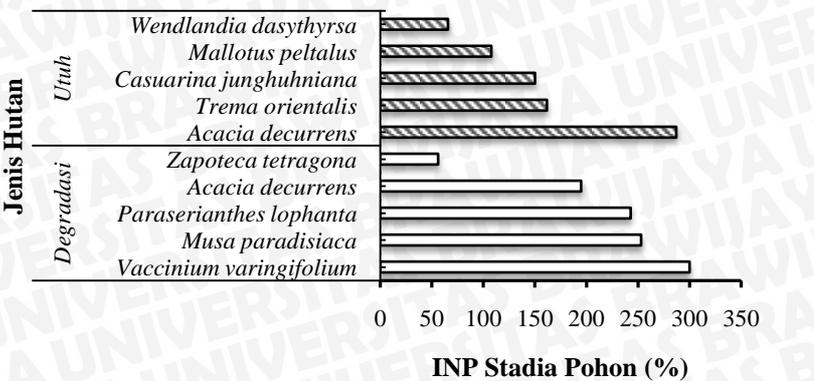
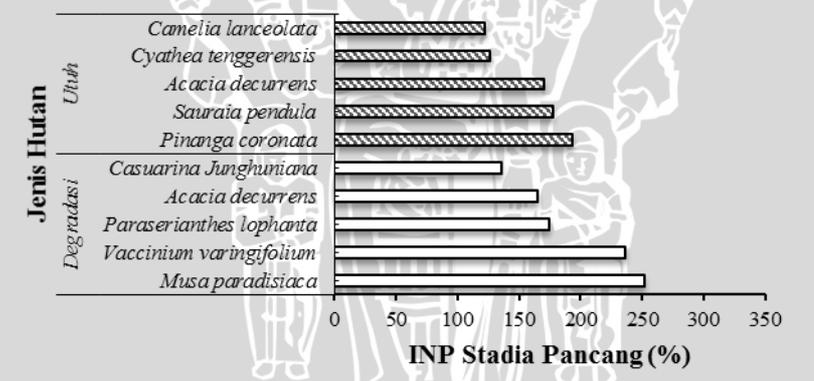
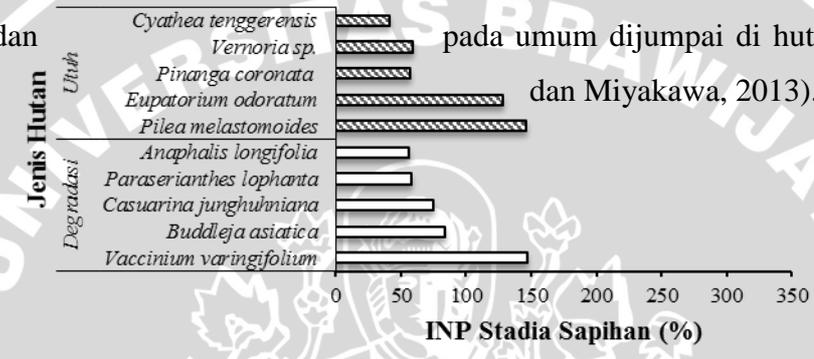
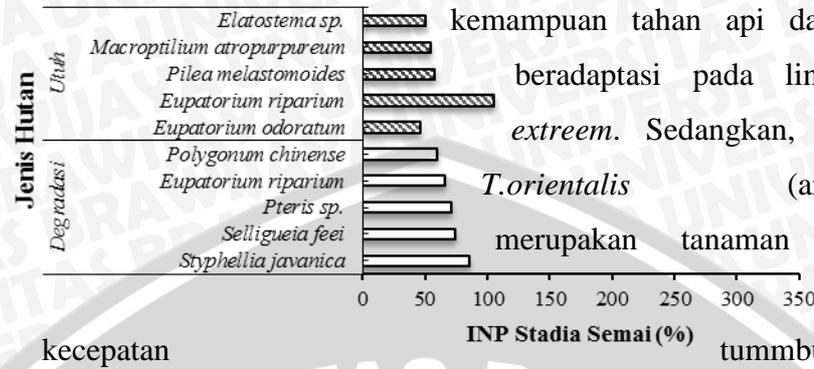
Untuk INP stadia pohon diketahui bahwa nilai INP tertinggi pada hutan degradasi dimiliki oleh tanaman *Vaccinium varingiaefolium* (mentigi) dengan nilai 300% diikuti oleh tanaman *Musa paradisiaca* (pisang) dengan nilai 253% dan *Paraserianthes lophanta* (kemlandingan) dengan nilai 243%. Ketiga tanaman tersebut tergolong kelas INP sangat baik, dan memiliki jenis tanaman yang sama dengan INP tertinggi dari stadia sapihan hingga pancang. Sehingga dapat dikatakan regenerasi alami tanaman berjalan dengan baik. Salah satunya adalah tanaman *Vaccinium varingiaefolium* (mentigi) merupakan jenis tanaman yang dapat bertahan pada kawasan ekstrem dan tahan api (Hakim dan Miyakawa, 2013).

Sedangkan, untuk stadia pohon pada hutan utuh, nilai INP tertinggi dimiliki oleh tanaman *Acacia decurrens* (Akasia) dengan nilai 287% diikuti oleh *Trema orientalis* (anggrung) dengan nilai 162% dan *Casuarina junghuhniana* (cemara gunung) dengan nilai 150%. Tanaman akasia dan anggrung tergolong ke kelas INP sangat baik, sedangkan tanaman cemara gunung tergolong ke kelas INP baik. Tanaman Akasia tumbuh mendominasi secara merata pada KK5A (Blok

Simpang Kenciri) dimana hutan tersebut merupakan hutan restorasi akasia. *A. decurrens* (Akasia) banyak ditemukan mendominasi di kawasan TNBTS karena

memiliki kemampuan tahan api dan dapat beradaptasi pada lingkungan yang ekstrem. Sedangkan, tanaman

yang memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi dan (Hakim dan Miyakawa, 2013).



Gambar 13. Indeks Nilai Penting (INP) flora pada berbagai stadia di hutan utuh dan hutan degradasi

Berdasarkan hasil pengamatan (Gambar 13), pada hutan degradasi terdapat beberapa tanaman yang tumbuh secara kontinyu dari stadia sapihan, pancang hingga pohon seperti tanaman *Vaccinium varingiaefolium* (mentigi), dan *Paraserianthes lophanta* (kemlandingan). Kedua tanaman tersebut memiliki nilai INP tertinggi pada tiga stadia pertumbuhan hal tersebut sesuai dengan pernyataan Mawazin dan Subiakto (2013) dimana jenis tanaman yang memiliki nilai INP tinggi berpotensi lebih untuk mempertahankan pertumbuhan dan kelestarian jenisnya. Pada hutan utuh, tanaman yang tumbuh secara kontinyu dari stadia pancang hingga pohon hanya jenis *Acacia decurrens* (akasia) yang merupakan jenis tanaman invasif. Hal tersebut dikarenakan pada salah satu plot pengamatan merupakan hutan utuh dari hasil restorasi sehingga di dominasi oleh tanaman akasia.

#### 4.1.1.2 Indeks Keanekaragaman Jenis ( $H'$ )

Indeks Shanon-Wiener ( $H'$ ) merupakan perhitungan yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat keanekaragaman flora pada ekosistem hutan degradasi dan hutan utuh dari berbagai stadia. Nilai  $H'$  terdiri atas 3 kelas yaitu kelas rendah ( $H' < 1$ ), kelas sedang ( $1 < H' < 3$ ) dan kelas tinggi ( $H' > 3$ ).

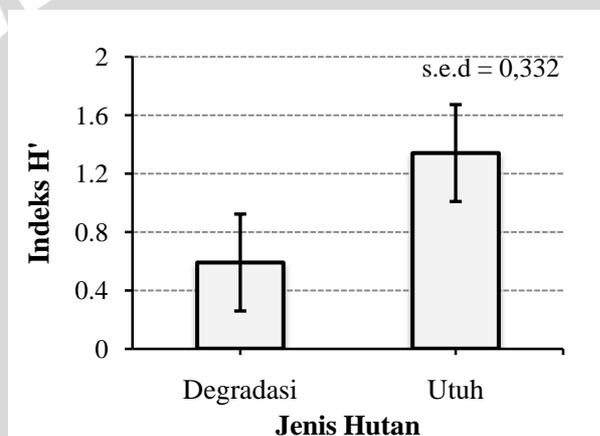
##### a. Stadia Semai

Berdasarkan hasil analisis ragam diketahui bahwa nilai indeks keanekaragaman jenis ( $H'$ ) pada kedua sumber keragaman yaitu jenis hutan dan kelerengan tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) (Lampiran 4a). Nilai rata - rata indeks  $H'$

(Lampiran 5a) pada hutan degradasi yaitu 1,68 dan hutan utuh 1,52 yang tergolong dalam kelas keanekaragaman sedang ( $1 < H' < 3$ ).

### b. Stadia Sapihan

Pada stadia pertumbuhan sapihan, nilai indeks keanekaragaman jenis ( $H'$ ) pada hutan utuh bernilai lebih tinggi dibandingkan dengan hutan degradasi yang terlihat pada Gambar 14. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa nilai indeks  $H'$  stadia sapihan pada sumber keragaman jenis hutan berbeda nyata ( $p < 0,05$ ), sedangkan pada sumber keragaman kelerengkan tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) (Lampiran 4b).

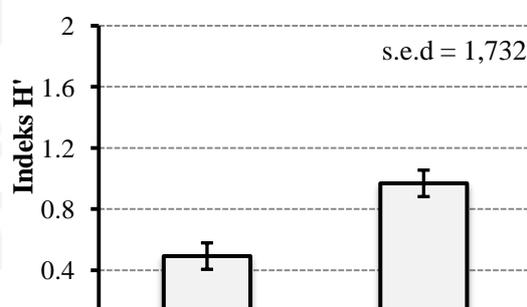


Gambar 14. Rata - rata Indeks keanekaragaman ( $H'$ ) stadia sapihan pada kedua jenis hutan

Rata - rata nilai indeks  $H'$  (Lampiran 5b) dari hutan degradasi yaitu 0,59 yang tergolong dalam kelas rendah dan hutan utuh yaitu 1,34 yang tergolong dalam kelas keanekaragaman sedang.

### c. Stadia Pancang

Pada stadia pertumbuhan pancang, nilai indeks  $H'$  pada hutan utuh dan hutan degradasi berbeda nyata ( $p < 0,05$ ), sedangkan pada sumber keragaman kelerengkan tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) (Lampiran 4c). Pada Gambar 15 terlihat bahwa nilai indeks keanekaragaman jenis ( $H'$ ) dari stadia pancang pada hutan utuh lebih tinggi dibandingkan dengan hutan degradasi.

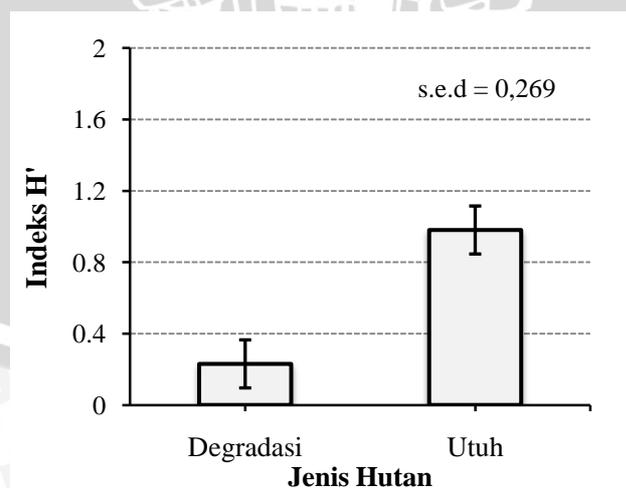


Gambar 15. Rata - rata Indeks keanekaragaman ( $H'$ ) stadia pancang pada kedua jenis hutan

Rata - rata nilai indeks  $H'$  (Lampiran 5c) dari hutan degradasi 0,49 yang tergolong dalam kelas keanekaragaman rendah dan hutan utuh 0,97 yang tergolong dalam kelas keanekaragaman sedang.

#### d. Stadia Pohon

Seperti halnya pada ketiga stadia lainnya, pada hutan utuh memiliki nilai indeks keanekaragaman yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan hutan utuh (Gambar 16). Rata - rata indeks  $H'$  dari kedua jenis hutan berbeda nyata ( $p < 0,05$ ), sedangkan pada sumber keragaman kelerengan tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) (Lampiran 4d). Rata - rata indeks  $H'$  (Lampiran 5d) dari hutan degradasi yaitu 0,23 tergolong dalam kelas rendah dan hutan utuh yaitu 0,98 yang tergolong dalam kelas sedang.



Gambar 16. Rata - rata Indeks keanekaragaman ( $H'$ ) stadia pohon pada kedua jenis hutan

Kemerataan spesies dan kekayaan spesies merupakan dua komponen yang menyusun dan menentukan nilai keanekaragaman spesies pada suatu ekosistem. Tingkat heterogenitas habitat, kestabilan dan produktivitas yang tinggi pada suatu ekosistem merupakan indikator dari keanekaragaman spesies (indeks H') yang tinggi pula (Mligo *et al.*, 2011; Wijana, 2014; Ismaini *et al.*, 2015). Ditinjau dari hasil analisis keanekaragaman jenis diatas bahwa nilai H' stadia semai pada hutan degradasi lebih tinggi dari hutan utuh. Sedangkan, pada stadia sapihan dan pancang nilai rata - rata H' hutan utuh lebih tinggi daripada hutan degradasi namun masih dalam satu kelas keanekaragaman yang sama (kelas sedang). Nilai rata - rata H' pada stadia pohon di kedua hutan tergolong ke kelas rendah namun pada hutan utuh memiliki nilai yang lebih tinggi. Nilai Indeks H' pada hutan degradasi yang rendah dapat dipengaruhi oleh proses regenerasi alami yang lambat jika dibandingkan dengan hutan utuh. Spesies flora endemik ditemukan lebih sedikit dan di dominasi oleh spesies invasif pada hutan degradasi. Pada awalnya, kawasan hutan degradasi merupakan ekosistem hutan utuh yang seiring berjalannya waktu mengalami tekanan seperti faktor antropogenik dengan adanya campur tangan manusia serta faktor alam seperti curah hujan, karakteristik tanah (Clarke *et al.*, 2000 dalam Mligo, 2015), gangguan alam (erupsi gunung berapi, longsor), kebakaran ataupun nightfrost (embun beku). Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Putri dan Merryana (2009) mengenai degradasi biodiversitas di Taman Nasional Rawa Aopa Watumohai, dimana struktur vegetasi mengalami perubahan pada hutan degradasi akibat penebangan hutan. Stadia semai dan pancang pada hutan degradasi memiliki kesempatan hidup lebih besar karena kawasan hutan degradasi yang terbuka lebih luas dibandingkan pada hutan utuh.

#### 4.1.1.3 Indeks Kekayaan Jenis (R)

Dalam perhitungan kekayaan jenis pada hutan utuh dan hutan degradasi di empat lokasi pengamatan digunakan indeks kekayaan jenis Margalef. Indeks Margalef digunakan untuk menghitung dan mengetahui jumlah individu tiap spesies pada tiap stadia pertumbuhan yang diamati. Menurut Jouriet *al.* (2011) indikator dari kesehatan ekosistem dapat dilihat dari keanekaragaman serta

kekayaan jenis spesies pada suatu komunitas. Kekayaan jenis merupakan jumlah dari tiap jenis yang ditemukan pada suatu komunitas dimana banyaknya jumlah jenis yang ditemukan memiliki nilai yang berbanding lurus dengan nilai indeks kekayaan jenisnya. Namun, peningkatan jumlah individu akan berbanding terbalik dengan peningkatan jumlah spesies yang ditemukan (Ismaini *et al.*, 2015).

#### a. Stadia Semai

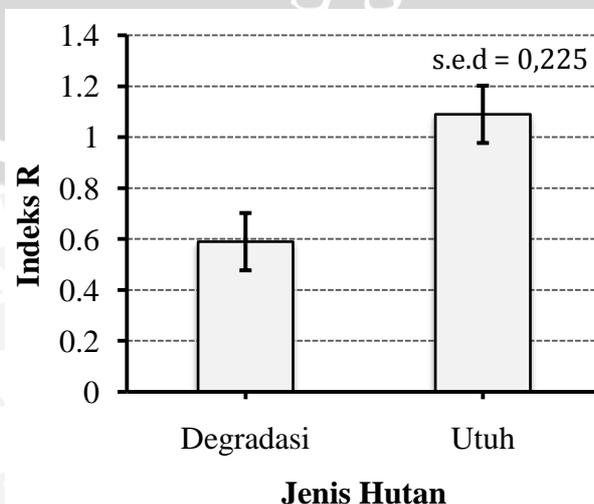
Hasil analisis ragam indeks margalef (R) pada stadia semai (Lampiran 6a) memiliki nilai rata-rata indeks kekayaan jenis yang tidak berbeda pada kedua sumber keragaman yaitu jenis hutan (hutan utuh dan degradasi) dan kelerengan (lereng bawah dan lereng tengah) ( $p > 0,05$ ). Rata-rata nilai indeks R (Lampiran 7a) pada masing-masing hutan masih tergolong kelas rendah ( $R < 3,5$ ) dengan nilai rata-rata nilai R pada hutan degradasi 2,72 dan 2,38 pada hutan utuh.

#### b. Stadia Sapihan

Pada stadia sapihan rata-rata indeks kekayaan jenis (R) pada kedua jenis hutan dan dua kelerengan tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) (Lampiran 6b). Sama halnya dengan nilai R pada stadia semai, kelas kekayaan jenis pada stadia sapihan juga tergolong rendah dengan rata-rata nilai R pada hutan degradasi 0,58 dan 1,35 pada hutan utuh (Lampiran 7b).

#### c. Stadia Pancang

Berbeda dengan ketiga stadia lainnya, pada stadia pancang nilai indeks kekayaan jenis (R) bernilai lebih tinggi jika dibandingkan dengan hutan degradasi (Gambar 17).



Gambar 17. Rata - rata Indeks kekayaan jenis (R) stadia pancang pada kedua jenis hutan

Hasil analisis ragam dari rata - rata indeks kekayaan jenis (R) pada kedua jenis hutan berbeda nyata ( $p < 0,05$ ), sedangkan pada sumber keragaman kelerengan tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) (Lampiran 6c). Rata - rata nilai R kedua jenis hutan (Lampiran 7c) tergolong kelas rendah yaitu dengan nilai 0,59 untuk hutan degradasi dan 1,09 pada hutan utuh.

#### **d. Stadia Pohon**

Pada stadia pohon, rata - rata indeks kekayaan jenis (R) pada sumber keragaman jenis hutan dan kelerengan tidak berbeda ( $p < 0,05$ ) (Lampiran 6d). Rata -rata nilai R (Lampiran 7d) pada kedua jenis hutanyaitu 0,27 pada hutan degradasi dan 0,94 pada hutan utuh. Indeks kekayaan jenis pada kedua hutan masih tergolong kelas rendah ( $R < 3,5$ ). Ismaini *et al.* (2015) melaporkan bahwa nilai kekayaan jenis yang rendah menunjukkan bahwa pada hutan utuh ataupun hutan degradasi memiliki spesies yang relatif banyak tetapi jumlah individu dari setiap spesies sedikit. Sebaliknya, meski nilai kekayaan jenis (R) pada hutan utuh stadia sapihan, pancang dan pohon merupakan kategori rendah tetapi nilai kekayaan jenisnya bernilai lebih tinggi dari hutan degradasi karena sesuai dengan pernyataan Swamy *et al.* (2010) pada umumnya hutan tropis memiliki kemampuan dalam pemulihan ekosistem yang sangat baik, namun kemampuan itu dibatasi oleh interfensi biotik yang berlebihan dan gangguan antropogenik.

#### **4.1.1.4 Indeks Kemerataan Jenis (E)**

Kemerataan jenis merupakan salah satu komponen yang menyusun nilai keanekaragaman jenis suatu komunitas. Komunitas yang memiliki nilai indeks kemerataan maksimum ( $E > 0,6$ ) merupakan indikasi dari setiap jenis yang ditemukan memiliki jumlah individu yang sama atau penyebarannya semakin merata. Namun, jika indeks kemerataannya minimum maka terdapat jenis - jenis dominan, sub-dominan dan terdominasi dalam suatu komunitas (Ismaini *et al.*, 2015). Berdasarkan hasil analisis ragam diketahui bahwa rata - rata nilai indeks

kemerataan jenis (E) dari kedua jenis hutan pada 3 stadia tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) kecuali pada stadia pohon ( $p < 0,05$ ) (Lampiran 8).

#### a. Stadia Semai

Hasil analisis ragam (anova) pada stadia semai, diketahui bahwa derajat kemerataan jenis (E) pada kedua sumber keragaman, yaitu jenis hutan dan kelerengan tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) (Lampiran 8a). Rata - rata nilai E (Lampiran 9a) pada hutan degradasi bernilai 0,65 (kelas tinggi) dan 0,49 (kelas sedang).

#### b. Stadia Sapihan

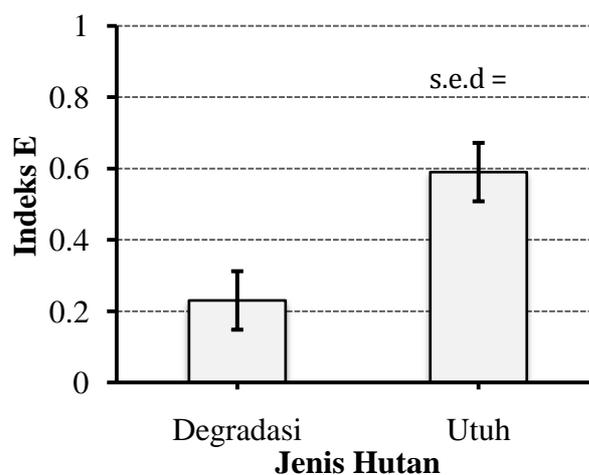
Hasil analisis ragam menunjukkan nilai E pada kedua jenis hutan dan kelerengan tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) (Lampiran 8b). Adapun nilai E rata - rata (Lampiran 9b) dari tiap jenis hutan tergolong ke kelas sedang dengan nilai 0,32 pada hutan degradasi dan 0,54 pada hutan utuh.

#### c. Stadia Pancang

Derajat kemerataan jenis pada stadia pancang dari dua jenis hutan memiliki kelas yang berbeda. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa rata - rata nilai E pada kedua hutan dan kelerengan tidak berbeda ( $p > 0,05$ ) (Lampiran 8c). Adapun rata - rata nilai E (Lampiran 9c) pada plot hutan degradasi adalah 0,58 (kelas sedang) dan plot hutan utuh 0,77 (kelas tinggi) yang memiliki persebaran jenis merata pada keseluruhan plot pengamatan.

#### d. Stadia Pohon

Indeks kemerataan jenis (E) pada stadia pohon, memiliki nilai lebih tinggi pada hutan utuh (Gambar 18). Hasil analisis ragam menunjukkan nilai E berbeda nyata pada kedua jenis hutan ( $p < 0,05$ ) (Lampiran 8d). Rata - rata nilai E (Lampiran 9d) pada plot hutan degradasi 0,23 (kelas rendah) dan sebaliknya pada hutan utuh 0,59 (kelas sedang).



Gambar 18. Rata - rata Indeks kemerataan jenis (E) stadia pohon pada kedua jenis hutan

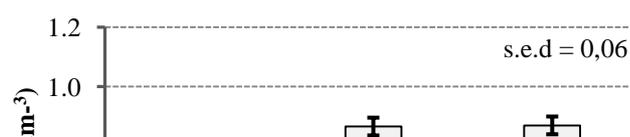
Dari keempat stadia pertumbuhan, diketahui bahwa persebaran tanaman stadia semai di hutan degradasi lebih merata terlihat dari nilai kemerataan jenis (E) yang lebih tinggi. Sedangkan, pada tiga stadia lainnya, yaitu stadia sapihan, pancang dan pohon, nilai E lebih tinggi pada hutan utuh karena pada tiga stadia tersebut persebaran tanamannya lebih merata di keempat lokasi pengamatan (KK1, KK4, KK5A, KK5B). Suatu komunitas dikatakan memiliki nilai Indeks kemerataan yang tinggi jika jumlah setiap jenis yang ditemukan memiliki jumlah individu yang sama. Nilai Indeks Kemerataan jenis (R) yang tinggi merupakan indikasi bahwa jenis tanaman tersebut distribusi jenisnya menyebarkan secara merata pada suatu ekosistem dan tidak ditemukannya jenis dominan, sub-dominan atau terdominasi pada ekosistem tersebut (Tuhono, 2010; Ismaini *et al.*, 2015). Sehingga, dapat dikatakan tiga dari empat stadia pertumbuhan persebarannya lebih merata dan dikatakan tingkat keberlanjutannya lebih merata pada hutan utuh.

#### 4.1.2 Analisis Karakteristik Tanah

##### 4.1.2.1 Sifat Fisik Tanah

###### a. Berat Isi

Ketahanan penetrasi dan berat isi (BI) merupakan dua komponen utama yang saling bersinergi dalam mengestimasi kepadatan tanah pada suatu kawasan. Berat isi yang tinggi merupakan indikasi dari pemadatan tanah diikuti dengan kerapatan tanah yang meningkat, ketahanan penetrasi meningkat, namun ruang pori yang berkurang. Hal tersebut merupakan faktor pembatas bagi pertumbuhan akar tanaman, dimana untuk tanah dengan tekstur lempung berpasir memiliki nilai



minimum untuk pertumbuhan akar yaitu  $1,7 \text{ g cm}^{-3}$  (Coder, 2000). Rata - rata BI perkedalaman tanah di hutan TNBTS disajikan dalam Gambar 19.

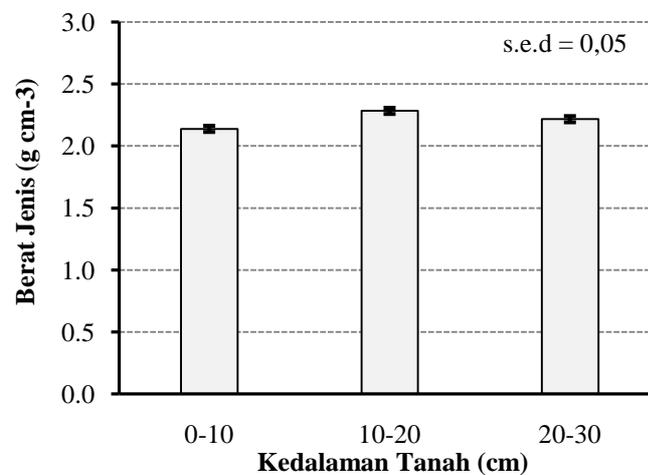
Gambar 19. Berat isi tanah pada hutan degradasi dan hutan utuh

Berdasarkan hasil analisis ragam BI berbeda nyata ( $p < 0,05$ ) pada kedalaman tanah yang berbeda. Dimana, berat isi akan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman tanah. Rata - rata BI pada kedalaman 0 - 10 cm yaitu  $0,73 \text{ g cm}^{-3}$ , 10 - 20 cm yaitu  $0,86 \text{ g cm}^{-3}$  dan kedalaman 20-30 cm rata-rata  $0,87 \text{ g cm}^{-3}$ . Di sisi lain, BI tanah tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) pada jenis hutan dan kelerengan yang berbeda (Lampiran 10d). Nilai rata - rata BI tanah tertinggi di hutan degradasi  $0,86 \text{ g cm}^{-3}$  dan hutan utuh  $0,78 \text{ g cm}^{-3}$  (Lampiran 12). Pada umumnya, tanah pada hutan utuh memiliki BI yang lebih rendah dibandingkan tanah olahan (Tolaka *et al.*, 2013). Masukan bahan organik pada tanah hutan utuh yang banyak dan terus menerus, serta agregasi yang baik akan memperbaiki kondisi BI tanah, terutama dilihat dari kedalaman tanahnya (Osman, 2013). Berdasarkan hasil penelitian Tamminen dan Starr (1994), pada permukaan tanah mineral hutan nilai BI relatif baik untuk pertumbuhan tanaman dan meningkat pada kedalaman tanah selanjutnya ( $> 20 \text{ cm}$ ).

#### **b. Berat Jenis**

Berat jenis (BJ) tanah merupakan hasil perhitungan dari massa padatan dengan volume partikel tanah. Berat jenis digunakan untuk mengestimasi ruang pori total tanah. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa nilai BJ pada setiap kedalaman tanah berbeda nyata ( $p < 0,05$ ). Berdasarkan Gambar 20 diketahui

bahwa rata - rata BJ pada kedalaman 0 - 10 cm yaitu  $2,14 \text{ g cm}^{-3}$ , 10 - 20 cm yaitu  $2,28 \text{ g cm}^{-3}$  dan  $2,22 \text{ g cm}^{-3}$  (Lampiran 12).



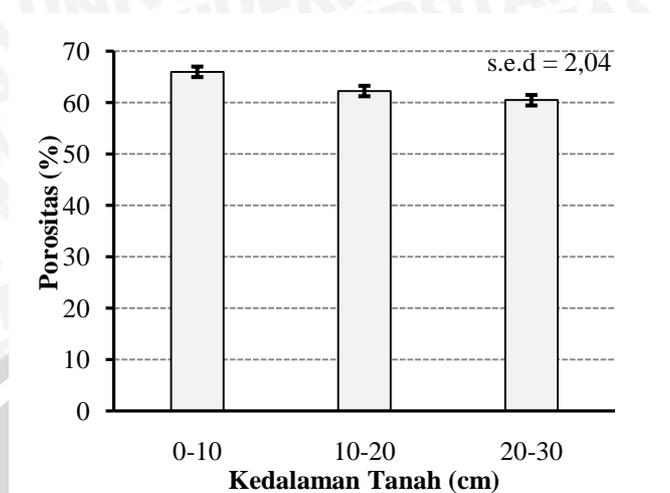
Gambar 20. Berat jenis tanah pada tiga kedalaman tanah hutan

Pada kedua jenis hutan rata - rata nilai BJ tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) (Lampiran 10e). Hutan degradasi memiliki nilai rata - rata BJ  $2,23 \text{ g cm}^{-3}$  sedangkan pada hutan utuh BJ rata-rata  $2,19 \text{ g cm}^{-3}$  (Lampiran 10e). Berdasarkan hasil penelitian Arifin (2011), diketahui bahwa berat jenis lahan pertanian lebih tinggi dari hutan. Hal tersebut dipengaruhi oleh masukan bahan organik pada hutan yang lebih tinggi dari lahan pertanian. Selain itu, jenis tekstur tanah yang tersusun atas fraksi lempung memiliki nilai berat jenis yang lebih kecil karena ukuran fraksinya paling kecil diantara fraksi lainnya. Salah satu penyebab nilai berat jenis yang tidak berbeda antar jenis hutan bisa disebabkan karena jenis tekstur yang dimiliki satu jenis, yaitu lempung berdebu. Namun, karena masukan bahan organik dari hutan utuh lebih banyak dan jumlah serta kerapatan akar yang tinggi yang dapat membantu penghancuran bahan organik menyebabkan nilai berat jenis pada hutan utuh lebih rendah.

### c. Porositas

Porositas merupakan ruang pori tanah yang tidak terisi bahan padat dan berada diantara ruang partikel pasir, debu, liat serta agregat tanah dalam suatu volume tanah utuh (Tolaka *et al.*, 2013). Tanah dengan tekstur liat memiliki banyak mikropori yang dapat menyimpan air dalam kuantitas yang besar, namun laju infiltrasinya rendah karena hanya memiliki sedikit makropori dan sebaliknya

pada tanah bertekstur pasir. Grafik pada gambar 21 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai porositas seiring bertambahnya kedalaman tanah.



Gambar 21. Porositas tanah pada tiga kedalaman jenis hutan

Nilai porositas pada tiap kedalaman tanah berbeda nyata ( $p < 0,05$ ). Rata-rata nilai porositas pada tiap kedalaman yaitu 0 - 10 cm yaitu 66% , 10 - 20 cm yaitu 62% dan 20 - 30 cm yaitu 60%. Di sisi lain diketahui bahwa rata-rata nilai porositas pada kedua jenis hutan tidak berbeda ( $p > 0,05$ ) (Lampiran 10f). Nilai porositas tertinggi dimiliki oleh hutan utuh dengan nilai rata-rata 65% sedang pada hutan degradasi bernilai 61% (Lampiran 12). Porositas pada plot pengamatan tergolong dalam kelas porositas tinggi. Nilai porositas yang tinggi merupakan indikasi rendahnya berat isi dan ketahanan penetrasi tanah (Coder, 2002; Osman, 2013). Porositas tanah hutan yang lebih tinggi memiliki daya simpan air yang lebih besar dibandingkan dengan hutan degradasi (Arifin, 2011). Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh masukan bahan organik yang cukup sehingga mendukung pertumbuhan tanaman, dan pergerakan akar dalam menyerap nutrisi dan air bagi (Coder, 2000).

#### d. Ketahanan Penetrasi

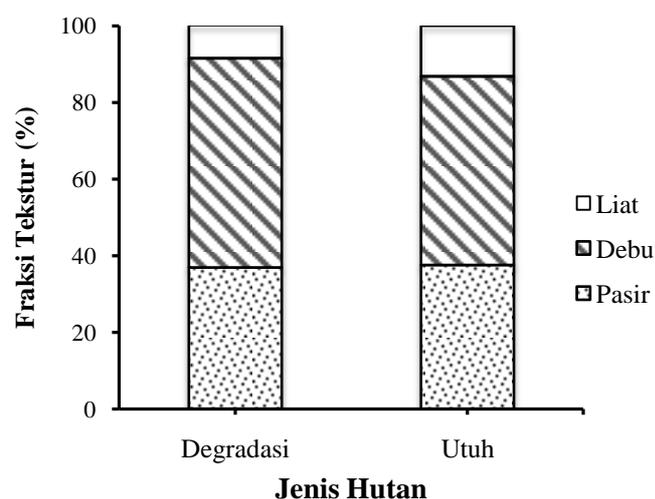
Performa akar tanaman dalam menembus tanah dapat dilihat dari tingkat penetrasinya. Guna mendukung pertumbuhan akar tanaman, nilai ketahanan penetrasi minimal yang dibutuhkan adalah 0,01 kPa sedangkan nilai maksimumnya adalah 3 MPa (Coder, 2000). Ketahanan penetrasi merupakan kekuatan tanah ketika dikenai gaya dari luar. Nilai ketahanan penetrasi

dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya, struktur tanah, pengolahan tanah, Berat Isi (BI) tanah, dan porositas tanah (Wahyunie *et al.*, 2012). Ketahanan penetrasi merupakan salah satu indikator guna mengetahui pengaruh dan tingkat kepadatan tanah terhadap tanaman selain indikator lainnya seperti ketersediaan air tanaman dan berat isi tanah. Kepadatan tanah dapat menyebabkan dampak yang buruk bagi tanaman yaitu pertumbuhan akar yang terganggu dan menurunkan makropori tanah (Coder, 2000; Osman, 2013).

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa nilai penetrasi tanah pada sumber keragaman jenis hutan yaitu hutan utuh dan degradasi tidak berbeda ( $p > 0,05$ ) (Lampiran 10g). Sebaran ketahanan penetrasi antar kedua jenis hutan, pada dua kelerengan dan dalam tiga kedalaman yang di amati (0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm) tergolong kelas rendah dan tidak menghambat pertumbuhan tanaman (Ball dan O' Sullivan, 1982 dalam Blouin *et al.*, 2008) dengan nilai rata - rata hutan degradasi 0,09 MPa dan hutan utuh 0,10 MPa (Lampiran 12).

#### e. Tekstur

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa nilai fraksi penyusun tekstur yaitu fraksi debu dan liat pada jenis hutan utuh dan hutan degradasi berbeda nyata ( $p < 0,05$ ) (Lampiran 10b dan 10c). Sedangkan, nilai fraksi pasir tidak berbeda ( $p > 0,05$ ) pada kedua jenis hutan (Lampiran 10a). Pada 22, fraksi tertinggi yang menyusun tekstur pada hutan degradasi adalah debu dengan rata - rata nilai 56% diikuti oleh pasir 35% dan liat 9%. Begitu juga pada hutan utuh, fraksi tertinggi yang menyusun teksturnya adalah debu dengan nilai 49 %, pasir 38% dan liat 13% (Lampiran 12). Dari hasil fraksi penyusun tekstur pada kedua jenis hutan, diketahui bahwa kedua hutan memiliki kelas tekstur lempung berdebu.



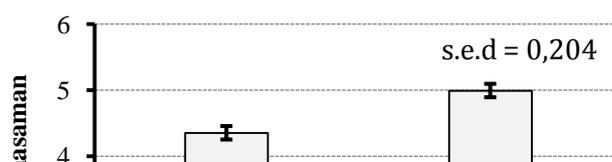
Gambar 22. Kandungan fraksi penyusun tekstur tanah pada berbagai jenis hutan

Tanah dengan tekstur lempung memiliki infiltrasi dan drainase yang lebih baik dari tanah bertekstur liat dan mengandung nutrisi serta humus yang lebih baik dibandingkan dengan tanah bertekstur pasir. Hal tersebut disebabkan oleh pori yang tepat dan tercukupi antara ruang pori, air, nutrisi dan udara pada tanah bertekstur lempung (Osman, 2013). Selanjutnya, perbandingan jenis partikel yang menyusun tekstur pada kedua hutan tersebut disajikan dalam grafik pada Gambar 22. Bahan induk yang mengalami pelapukan dan proses pedogenesis, rekristalisasi, eluviasi dan iluviasi merupakan tahap dari pembentukan tekstur tanah. Tekstur tanah juga tidak selalu berubah ketika mengalami manajemen pengolahan lahan yang berbeda (Osman, 2013). Masukan bahan organik yang lebih banyak serta proses dekomposisinya yang lebih cepat menyebabkan tanah hutan memiliki tekstur yang lebih berkembang jika dibandingkan dengan tanah dari lahan pertanian. Selain adanya pelarut efektif yang berasal dari proses dekomposisi bahan organik, fraksi yang halus seperti lempung akan lebih mudah terbentuk pada tanah hutan akibat bantuan dari perakaran tanaman hutan yang lebih banyak dan lebih rapat (Arifin, 2011; Tolaka, *et al.*, 2013). Komposisi, distribusi serta kualitas dari tanaman pada hutan tropis kering juga dipengaruhi oleh faktor penting seperti jenis tekstur tanah (Jha dan Singh, 1990), ukuran partikel penyusun (Levula *et al.*, 2003), dan drainase tanahnya (Scull dan Harman, 2004).

#### 4.1.2.2 Sifat Kimia Tanah

##### a. pH

Reaksi tanah (pH) ditunjukkan dalam dua jenis derajat kemasaman, yaitu derajat kemasaman aktual (pH H<sub>2</sub>O) dan potensial (pH KCl). Nilai pH KCl yang rendah dari pH H<sub>2</sub>O mengindikasikan bahwa tanah di dominasi oleh mineral liat yang memiliki muatan negatif (Suharta, 2007). Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian dimana hasil rata - rata pH KCl dari kedua hutan lebih tinggi



karena kandungan fraksi liat penyusun tekstur tanah memiliki persentase yang rendah. Selanjutnya, hasil penelitian disajikan dalam Gambar 23.

Gambar 23. pH H<sub>2</sub>O pada berbagai jenis hutan

Nilai pH H<sub>2</sub>O pada kedua jenis hutan sangat berbeda nyata ( $p < 0,01$ ). Rata-rata nilai pH H<sub>2</sub>O pada hutan degradasi adalah 4,3 dan hutan utuh 4,9. Sedangkan pH KCl tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) (Lampiran 11a) pada seluruh sumber keragaman, dengan nilai pH KCl pada hutan degradasi 4,8 dan pada hutan utuh 5,1 (Lampiran 13). Reaksi tanah (pH) pada kedua jenis hutan tergolong kelas masam dengan di dominasi oleh ion H<sup>+</sup>, namun masih dapat ditolerir untuk mendukung pertumbuhan akar dimana pH minimal yang dibutuhkan adalah 3.5 (Coder, 2000).

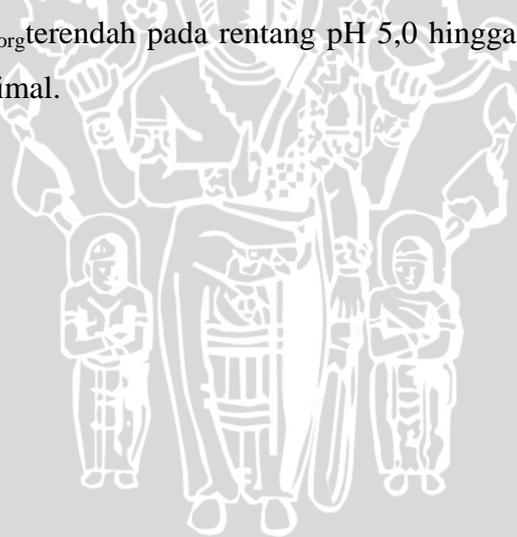
Hasil penelitian Wijana (2014) melaporkan bahwa faktor edafik dan faktor klimatik seperti pH, bahan organik tanah, kelengasan tanah, suhu dan intensitas cahaya hanya memiliki pengaruh 5% terhadap keanekaragaman jenis tanaman (H') sedangkan 95% lainnya merupakan faktor-faktor lain yang belum bisa diperhitungkan. Adapun, faktor yang mempengaruhi perubahan nilai pH dalam kurun waktu tertentu diantaranya jenis tanah, flora *native*, residu tanaman, eksudat akar tanaman, curah hujan, pencucian dan erosi (Reeuwijk, 2002).

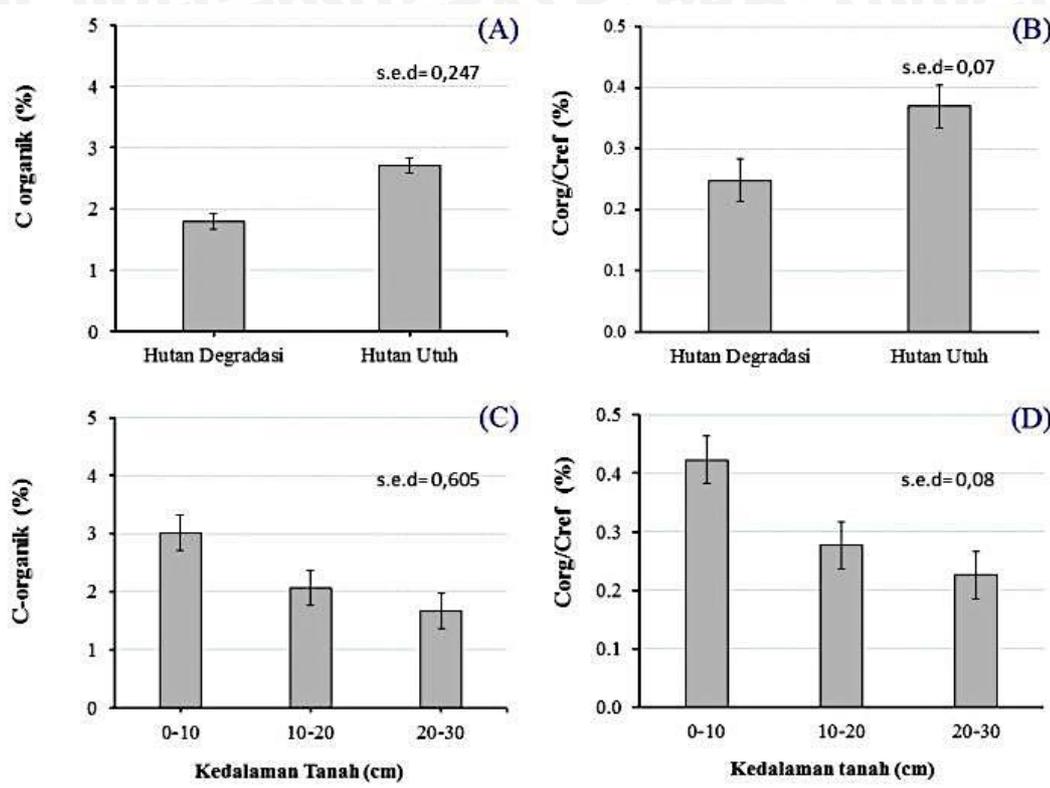
#### **b. C-Organik Tanah**

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa kandungan C<sub>org</sub> pada kedua jenis hutan berbeda nyata ( $p < 0,05$ ) dengan nilai rata-rata 1,79% pada hutan degradasi

dan 2,71% pada hutan utuh(Gambar 24a). Selain itu, rata - rata nilai  $C_{org}$  pada tiga kedalaman tanah berbeda nyata ( $p < 0,05$ ). Rata - rata nilai  $C_{org}$  tertinggi terdapat pada lapisan atas (0-10 cm) rata-rata 3,0%, di kedalaman 10 - 20 cm rata-rata 2,07% dan 20 - 30 cm sebesar 1,66%(Gambar 24c).

Jumlah masukan bahan organik yang berbeda pada kedua jenis hutan dipengaruhi oleh komposisi tumbuhan, keanekaragaman tumbuhan serta jumlahnya. Kondisi tersebut menyebabkan perbedaan akan jumlah masukan seresah, ketebalan seresah dan kualitasnya, dimana di hutan utuh bahan organik berasal dari seresah yang terkumpul pada lantai hutan dari bermacam vegetasi di atasnya (Rahman *et al.*, 2012; Setyaningsih *et al.*, 2014). Adanya perbedaan kandungan liat dan debu, ketinggian tempat, dan nilai pH tanah antar lokasi berpengaruh sangat besar terhadap kandungan C-organik tanah, oleh karena itu perbandingan secara langsung tidak bisa dilakukan melainkan data C-organik harus dikoreksi terlebih dahulu (Van Noordwijk *et al.*, 1997). Tanah hutan akan memiliki kandungan  $C_{org}$  terendah pada rentang pH 5,0 hingga 6,0 karena proses dekomposisi paling optimal.





Gambar 24. Kandungan bahan organik tanah di tanah hutan degradasi dan hutan utuh dari kedalaman yang berbeda, (A) total C<sub>org</sub> dan (B) C terkoreksi (C<sub>org</sub>/C<sub>ref</sub>) di tanah hutan degradasi dan hutan utuh; (C) total C<sub>org</sub> dan (D) C terkoreksi (C<sub>org</sub>/C<sub>ref</sub>) di kedalaman tanah yang berbeda

Untuk mengetahui keberlanjutan suatu ekosistem berdasarkan kesuburan tanahnya dilakukan perhitungan C terkoreksi (C<sub>org</sub>/C<sub>ref</sub>), ketika nilai C<sub>org</sub>/C<sub>ref</sub> mendekati 1,0 maka kesuburan tanah hutan tergolong baik, sebaliknya jika nilainya kurang dari 1,0 menunjukkan bahwa tanah hutan tersebut telah mengalami degradasi. Pada Gambar 24 disajikan hasil C-organik (C<sub>org</sub>) dan C terkoreksi (C<sub>org</sub>/C<sub>ref</sub>) pada hutan degradasi dan hutan utuh serta per kedalaman tanah di kawasan TNBTS.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa nilai C<sub>org</sub>/C<sub>ref</sub> berbeda nyata (p<0,05) pada dua jenis hutan dengan rata - rata 0,25% pada hutan degradasi dan 0,37% pada hutan utuh (Gambar 24b). Di lain sisi, nilai C<sub>org</sub>/C<sub>ref</sub> juga berbeda nyata (p<0,05) (Lampiran 11d) di kedalaman tanah yang berbeda (Gambar 24d). Rata - rata nilai C<sub>org</sub>/C<sub>ref</sub> tertinggi pada kedalaman 0 - 10 cm senilai 0,42%, diikuti

10 - 20 cm senilai 0,28% dan 20 - 30 cm senilai 0,23% (Lampiran 13). Berdasarkan hasil pengkoreksian total C-organik tanah menggunakan persamaan pedotransfer diperoleh  $C_{org}/C_{ref} < 0,5$ , maka dapat disimpulkan bahwa kesuburan tanah di wilayah TNBTS rendah.

## 4.2 Pembahasan

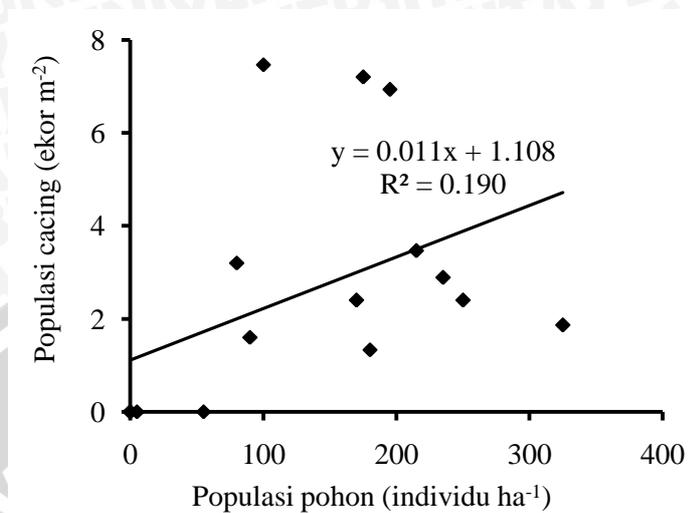
Pada penelitian ini dilakukan analisis sifat fisik tanah dan keanekaragaman tanaman pada dua jenis hutan, yaitu hutan degradasi dan hutan utuh. Kedua jenis hutan tersebut memiliki perbedaan dalam komposisi vegetasi namun memiliki sifat fisik tanah yang relatif sama pada kedelapan plot yang ada di masing-masing jenis hutan. Salah satu parameter sifat fisik yang diamati adalah kepadatan tanah yang dipengaruhi dan memiliki hubungan yang erat dengan beberapa sifat fisik yang lain seperti berat isi, porositas dan ketahanan penetrasi (Omi, 1985; Coder, 2002; Osman, 2013). Kerapatan serta tingkat keanekaragaman flora (*above ground diversity*) selain memiliki hubungan dengan sifat fisik tanah, juga diduga memiliki hubungan dengan sifat biologi tanah yaitu dengan populasi dan keanekaragaman cacing tanah (*below ground diversity*). Hubungan antara flora dengan cacing tanah, dan nilai kuantitatif dari kepadatan tanah yang dapat dilihat dari hubungan ketiga faktor lain (BI, porositas dan penetrasi tanah) akan dipaparkan sebagai berikut.

### 4.2.1 Hubungan antara Keanekaragaman Flora dengan Cacing Tanah

Komponen ekosistem di atas permukaan tanah (*above ground diversity*) dan komponen ekosistem di bawah tanah (*below ground diversity*) memiliki pengaruh penting antara satu dengan yang lain dalam membentuk interaksi antar komunitas (Wardle *et al.*, 2004). Nilai keanekaragaman spesies dan keanekaragaman fungsi ekologi tanaman yang tinggi menyebabkan masukan biomassa yang beragam dalam jumlah banyak, dimana dapat mempengaruhi tingkat populasi dari biota *ecosystem engineer* tanah yaitu, cacing tanah karena melimpahnya jumlah bahan organik sebagai pakannya (Roscher *et al.*, 2005).

Dalam beberapa penelitian disebutkan bahwa meningkatnya populasi dan keanekaragaman fungsi ekologi cacing tanah akan diikuti oleh meningkatnya

kekayaan spesies tanaman (Spehn *et al.*, 2000; Milcu, 2005). Hubungan antara populasi pohon dengan populasi cacing tanah disajikan dalam Gambar 25.

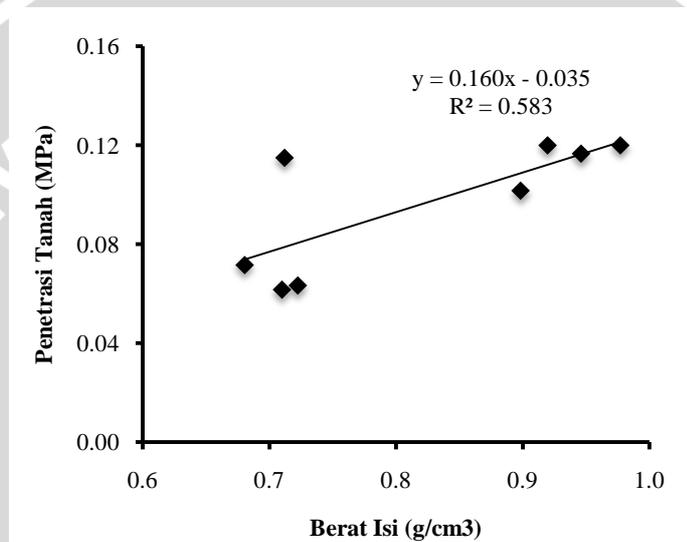


Gambar 25. Hubungan populasi pohon dengan populasi cacing tanah

Dari hasil uji korelasi antara populasi tanaman pada stadia pertumbuhan pohon dan populasi cacing tanah diketahui bahwa peningkatan populasi pohon dalam luasan 1 Ha berpengaruh cukup kuat dengan peningkatan populasi cacing tanah dalam luasan 1 m<sup>2</sup> ( $r = 0,44$ ). Dilihat dari spesies dominan, pada hutan utuh stadia pohon di dominasi oleh tanaman *Acacia decurrens* dan *Trema orientalis*, sedangkan pada hutan degradasi di dominasi *Vaccinium varingiaefolium* dan *Musa paradisiaca*. Spesies cacing tanah di dominasi oleh *Metaphire sp. 1* dan *Notoscolex sp. 1* pada hutan utuh dan *Megascolex sp. 2*, *Metaphire sp.* pada hutan degradasi (Karima, 2017). Kerapatan populasi baik pada hutan utuh ataupun hutan degradasi dipengaruhi oleh komposisi dan keanekaragaman tanaman di atasnya. Komposisi tanaman, jenis seresah yang jatuh pada lantai hutan dan tingkat pelapukannya akan mempengaruhi lingkungan bagi keberlangsungan hidup cacing tanah (Setyaningsih *et al.*, 2014). Cacing tanah sebagai *ecosystem engineer* memiliki peran dalam proses dekomposisi seresah, memperbaiki porositas tanah, dan meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi pertumbuhan tanaman melalui aktivitasnya di dalam tanah. Selain itu cacing tanah berperan dalam translokasi benih dan meningkatkan perkecambahan tanaman melalui rekayasa biologi dari benih tumbuhan yang termakan oleh cacing tanah yang dikeluarkan bersamaan dengan kascingnya (Milcu, 2005; Hairiah *et al.*, 2006; Lavelle *et al.*, 2006).

#### 4.2.2 Hubungan Berat Isi dengan Ketahanan Penetrasi Tanah

Ketahanan penetrasi dan berat isi merupakan refleksi dari kepadatan tanah dimana saling berpengaruh antara satu dengan yang lainnya. Berdasarkan hasil analisis ragam, diketahui bahwa rata - rata nilai berat isi antar jenis hutan tidak berbeda ( $p > 0,05$ ). Begitu pula dengan ketahanan penetrasi yang dimiliki. Berat isi yang tinggi menyebabkan ketahanan penetrasi meningkat, dan merupakan indikasi semakin padatnya suatu tanah sehingga akar makin sulit menembus tanah dan serapan air terganggu (Tolaka *et al.*, 2013; Coder, 2000).



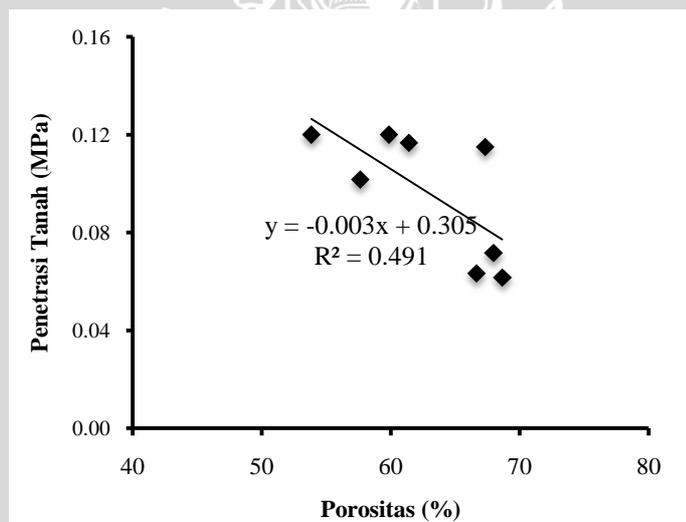
Gambar 26. Hubungan berat isi dengan penetrasi tanah pada dua jenis hutan

Selanjutnya, dilakukan uji korelasi dan regresi. Uji korelasi menunjukkan adanya keeratan hubungan (berkorelasi nyata) antara berat isi tanah dengan ketahanan penetrasi dengan nilai  $r = 0,76$  dan uji regresi (Gambar 26) guna mengetahui seberapa besar pengaruh antar parameter tersebut. Berdasarkan uji regresi linier sebesar  $R^2 = 0,5833$  menunjukkan keeratan antara berat isi dan ketahanan penetrasi tanah pada kedua jenis hutan. Menurut Osman (2013) nilai berat isi yang bervariasi pada beberapa kedalaman tanah dipengaruhi oleh masukan bahan organik serta agregasi tanah, dimana nilai berat isi yang meningkat berbanding terbalik dengan masukan bahan organik pada tanah. Berat isi dikatakan sebagai faktor pembatas pertumbuhan tanaman ketika bernilai lebih dari  $1,5 \text{ g cm}^{-3}$  pada tanah dengan tekstur liat;  $1,8 \text{ g cm}^{-3}$  pada tanah dengan tekstur debu;  $1,8 \text{ g cm}^{-3}$  pada tanah dengan tekstur lempung dan pasir;  $1,5 \text{ g cm}^{-3}$

pada tekstur lempung berdebu (Arshad, Lowey & Grossman, 1996; Coder, 2000), sehingga dapat dikatakan nilai berat isi pada kedua hutan dengan rata - rata  $0,8 \text{ g cm}^{-3}$  pada tekstur lempung berdebu bukanlah faktor pembatas pertumbuhan tanaman di TNBTS.

#### 4.2.3 Hubungan Porositas dengan Ketahanan Penetrasi Tanah

Porositas merupakan total volume tanah yang tidak berisi padatan yang berada diantara fraksi debu, pasir dan liat di dalam tanah. Porositas merupakan salah satu faktor yang memiliki hubungan erat dengan ketahanan penetrasi dan parameter dari kepadatan tanah (Coder, 2000; Osman, 2013). Berdasarkan hasil analisis ragam diketahui bahwa rata - rata nilai porositas pada dua jenis hutan tidak berbeda ( $p > 0,05$ ) begitu pula dengan nilai ketahanan penetrasinya. Hubungan antara porositas dan ketahanan penetrasi tanah disajikan dalam Gambar 27.



Gambar 27. Hubungan porositas dengan penetrasi tanah

Melalui uji korelasi diketahui bahwa porositas berkorelasi negatif dengan penetrasi tanah dengan nilai  $r = -0,701$ . Berdasarkan nilai uji korelasi tersebut diketahui bahwa nilai porositas berbanding terbalik dengan nilai ketahanan penetrasi, dimana rendahnya pori tanah akan meningkatkan ketahanan penetrasi. Selanjutnya, dilakukan uji regresi dan didapatkan hasil pengaruh porositas terhadap ketahanan penetrasi tanah sebesar  $R^2 = 0,4913$  (Gambar 27). Kandungan bahan organik, sebaran partikel tanah dan perakaran tanaman merupakan faktor yang mempengaruhi nilai porositas tanah. Pori tanah bertambah akibat

perpanjangan akar tanaman, aktivitas cacing tanah serta organisme lainnya yang mempengaruhi kehidupan di dalam tanah (Suprayogo *et al.*, 2004; Tan, 2005). Baik pada hutan degradasi ataupun hutan utuh, nilai rata - rata porositas tanahnya berada dalam satu kelas yang sama yaitu kategori porositas yang baik 65% pada hutan utuh dan 61% pada hutan degradasi. Hal tersebut juga dijumpai pada penelitian Tolaka *et al.* (2013) dimana pada hutan primer nilai porositasnya 50% dan pada kebun kakao bernilai 54%.

Pengolahan yang minim, tidak adanya gangguan dari alat berat, dan kelas tekstur yang berkisar antara lempung berdebu hingga lempung berpasir menyebabkan nilai porositas yang tinggi pada beberapa hutan tersebut. Tanah bertekstur halus tersebut memiliki ruang pori yang lebih tinggi sehingga porositas tinggi yang menyebabkan ketahanan penetrasi dan kepadatan tanah rendah (Ball *et al.*, 1997; Hamza & Anderson, 2005; Osman, 2013). Selain itu, menurut Fahmi (2015), struktur vegetasi pada suatu kawasan akan mempengaruhi porositasnya. Hal tersebut terlihat dari masukan seresah dan peran akar pepohonan yang lebih besar dan lebih beragam pada hutan utuh sehingga nilai porositas tanahnya lebih tinggi dibandingkan pada hutan degradasi.

#### **4.2.4 Kepadatan Tanah pada dua jenis hutan**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata - rata nilai kepadatan tanah antar kedalaman pada dua lereng di dua jenis hutan tidak berbeda ( $p>0,05$ ). Nilai tersebut tergolong pada kelas rendah dimana nilai rata - rata kepadatan tertinggi pada hutan degradasi adalah 0,09 MPa sedangkan pada hutan utuh adalah 0,10 MPa. Kepadatan tanah pada umumnya berdampak terhadap sifat fisik tanah, mulai dari penyimpanan air dan unsur hara, peningkatan berat isi, menurunnya porositas, meningkatnya kekuatan tanah, menurunnya kemampuan memegang air dan infiltrasi (Hamza dan Anderson, 2005).

Terlihat dari parameter sifat fisik yang diamati yang disajikan pada tabel 8, diketahui bahwa sifat fisik pada hutan degradasi ataupun hutan utuh masih tergolong baik dan tidak menghambat pertumbuhan tanaman. Hasil tersebut berkebalikan dengan hasil dari penelitian Akbar *et al.* (2010) yang menemukan perbedaan signifikan pada sifat fisik dan kimia tanah di hutan rehabilitasi dan

hutan sekunder. Performa yang lebih baik dimiliki hutan rehabilitasi yang ekosistemnya lebih beragam dan masukan bahan organiknya lebih banyak.

Tabel 9. Sifat fisik tanah pada hutan degradasi dan hutan utuh

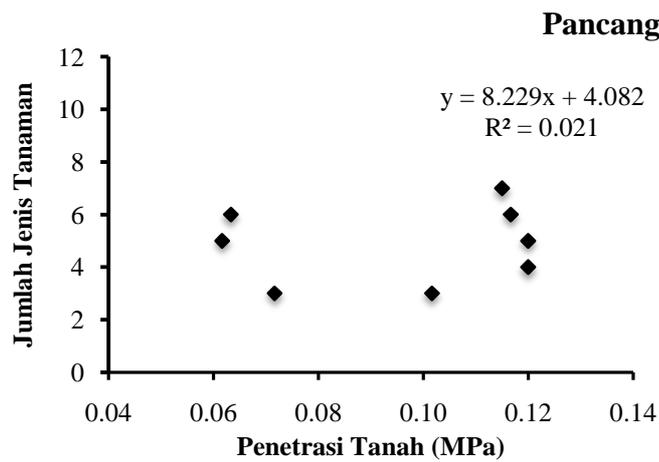
Sifat fisik	Jenis Hutan	Lereng	Nilai
Berat Isi ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Degradasi	Bawah	0,84
		Tengah	0,88
	Utuh	Bawah	0,80
		Tengah	0,76
Porositas (%)	Degradasi	Bawah	60,94
		Tengah	61,40
	Utuh	Bawah	65,11
		Tengah	64,21
Penetrasi Tanah (MPa)	Degradasi	Bawah	0,08
		Tengah	0,10
	Utuh	Bawah	0,09
		Tengah	0,11

Menurut Osman (2013), sifat fisik tanah memiliki hubungan dan pengaruh dengan distribusi alami dari spesies tanaman hutan, pertumbuhan tanaman (Sakai *et al.*, 2008) serta produksi biomasnya. Selain itu sifat fisik hutan dapat dikatakan bersifat permanen dan tidak berubah dalam jangka waktu yang panjang kecuali jika ada perubahan atau gangguan dari luar seperti dari alat berat (Whitman *et al.*, 1997; Johanna *et al.*, 2003; Hamza dan Anderson, 2005), pemanenan pohon, perubahan pengolahan, serta kebakaran hutan. Melihat dari sejarah penggunaan lahannya pada hutan yang dikatakan terdegradasi karena telah mengalami alih guna lahan menjadi lahan pertanian (KK 5B), kebakaran hutan (KK 1), dan aktivitas manusia seperti perambahan hutan serta dampak erupsi Gunung Bromo (KK 4 dan KK 5A). Namun, hal tersebut tidak menyebabkan nilai penetrasi tanah yang tinggi pada plot pengamatan hutan degradasi tersebut. Tekstur yang berkisar antara lempung berdebu hingga lempung berpasir yang memiliki ruang pori lebih banyak dari tekstur liat (Tolaka *et al.*, 2013; Osman, 2013), pengolahan minimum pada hutan degradasi, tidak adanya interferensi dari alat berat serta masukan bahan organik yang masih dapat ditolerir merupakan

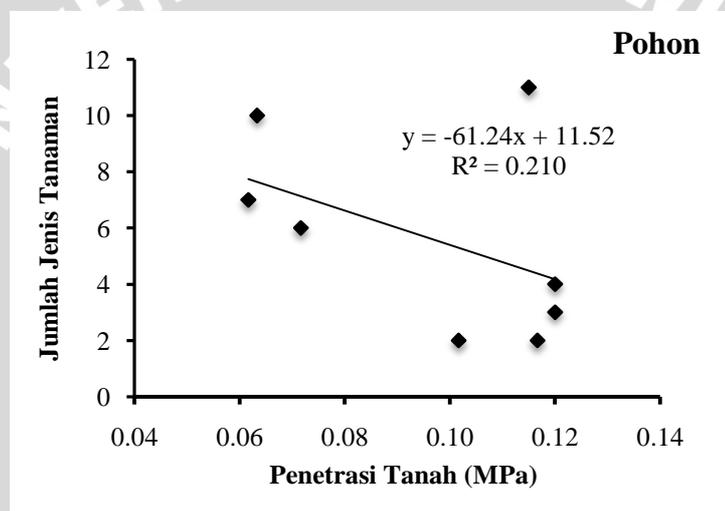
kemungkinan yang menyebabkan nilai kepadatan tanah pada hutan degradasi tergolong rendah.

#### 4.2.5 Hubungan Jumlah spesies flora dengan Penetrasi Tanah

Distribusi dan perkembangan tanaman diketahui memiliki hubungan dengan sifat fisik tanah, begitu pula sebaliknya. Melalui proses daur ulang alami terhadap mineral, dan modifikasi lingkungan yang dilakukan, vegetasi memiliki peran dalam mengubah faktor edafik, iklim mikro, fauna, flora serta komponen yang menyusun suatu ekosistem (Rathod dan Devar, 2003; Shukla, 2009). Selain itu, tanaman berfungsi untuk memperbaiki sifat fisik tanah melalui masukan bahan organik dan dekomposisinya (Rahman *et al.*, 2012). Selanjutnya dilakukan uji korelasi untuk mengetahui adanya pengaruh antara penetrasi tanah dengan jumlah jenis tanaman pada stadia pertumbuhan tanaman pancang dan pohon (Gambar 28 dan Gambar 29). Berdasarkan hasil penelitian ditemukan 96 jenis total flora pada hutan utuh dan hutan degradasi (Lampiran 2). Hasil uji korelasi penetrasi tanah dengan jumlah jenis tanaman pada stadia pancang menunjukkan terdapat korelasi yang sangat rendah ( $r = 0,148$ ) sedang pada stadia pohon terdapat korelasi negatif dengan nilai yang cukup kuat ( $r = -0,458$ ) yang berarti semakin meningkatnya ketahanan penetrasi tanah diikuti oleh menurunnya jumlah spesies flora pada stadia pohon (Gambar 28 dan Gambar 29). Hasil penelitian Sinnet *et al.* (2008) mengatakan bahwa, pertumbuhan akar tanaman akan terhambat ketika ketahanan penetrasi bernilai antara 2 hingga 3 MPa pada tanah berpasir dan berkerikil. Selanjutnya, akar tanaman yang dapat bertahan pada kedalaman 2 MPa berkisar antara 68% sedangkan 90% lainnya bertahan pada ketahanan penetrasi dibawah 3 MPa. Pada penelitian ini, jenis spesies yang ditemukan pada stadia pohon merupakan spesies yang toleran terhadap penetrasi tanah dan dapat tumbuh dengan baik karena memiliki akar yang kuat dan dalam seperti jenis *connifera* (Coder, 2000; Sinnet *et al.*, 2008). Jumlah jenis spesies stadia pohon yang tinggi akan menurunkan nilai ketahanan penetrasi tanah akibat aktivitas dari perakaran (Bassett *et al.*, 2005).



Gambar 28. Hubungan Penetrasi tanah dengan jumlah spesies flora pada stadia pancang



Gambar 29. Hubungan Penetrasi tanah dengan jumlah spesies flora pada stadia pohon

Pandangan tentang pengaruh penetrasi tanah dengan pertumbuhan tanaman bervariasi mulai dari yang berpengaruh negatif hingga positif. Menurut Omi (1985) besarnya pengaruh kepadatan tanah terhadap pertumbuhan akar tanaman dipengaruhi oleh jenis spesies toleran, jenis tanah dan faktor lingkungan lainnya. Pada stadia awal pertumbuhan, penetrasi tanah yang tinggi akan mempengaruhi pertumbuhan dari akar lateral tanaman namun tidak mempengaruhi dari pertumbuhan akar utama atau batang akarnya (Hattori *et al.*, 2013). Berdasarkan 22 penelitian tentang pengaruh kepadatan tanah terhadap pertumbuhan tanaman yang dianalisis menggunakan meta analisis oleh Ampoorter (2011) diketahui bahwa pada beberapa penelitian, tidak terdapat pengaruh nyata

antar dua parameter tersebut. Ditemukan pengaruh korelasi negatif yang rendah pada kepadatan tanah di tanah dengan tekstur halus dan pengaruh korelasi positif pada tanah dengan tekstur lebih kasar. Secara keseluruhan, kepadatan tanah berpengaruh negatif terhadap diversitas jumlah spesies flora pada suatu ekosistem. Terdapat faktor lain yang mempengaruhinya seperti berat isi, bahan organik, iklim, tekstur, sifat kimia dan biologi tanah yang berbeda antar lokasi penelitian.

Tanah yang padat dengan sifat fisik tanah yang buruk tidak selalu menjadi faktor yang dapat menurunkan diversitas tanaman. Terdapat faktor lain seperti sifat kimia tanah, sifat biologi, faktor antropogenik dan faktor lingkungan lainnya yang mempengaruhi tingginya keanekaragaman pada suatu kawasan. Hasil penelitian Mligo (2011) di Tanzania menunjukkan bahwa variasi jumlah spesies tanaman pada hutan Makurunge dipengaruhi oleh gangguan antropogenik seperti eksploitasi tanaman kayu dan kebakaran hutan untuk memenuhi permintaan arang. Menurut Wijana (2013) korelasi erat terjadi pada jumlah spesies flora pada habitat tertentu dengan kondisi lingkungannya. Dimana, pertumbuhan serta diversitas tanaman berbeda - beda dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan sifat tanahnya.

Ditinjau pada lokasi penelitian di hutan degradasi dan hutan utuh, sifat fisik tanah bukan merupakan faktor pembatas pertumbuhan tanaman karena nilai berat isi, porositas, dan ketahanan penetrasi masih tergolong baik meskipun memiliki tekstur dominan lempung berpasir yang tidak dapat menjaga ketersediaan unsur hara dalam tanah secara optimal. Namun pada sifat biologi, terdapat perbedaan jumlah masukan bahan organik pada hutan degradasi dan hutan utuh. Hal tersebut terlihat pada nilai  $C_{org}$  lebih tinggi pada hutan utuh yang memiliki jumlah spesies flora lebih banyak terutama pada stadia pancang dan pohon sehingga mempengaruhi jumlah masukan seresahnya. Selanjutnya, ditinjau dari sifat kimia tanah pada hutan TNBTS baik hutan utuh ataupun hutan degradasi memiliki nilai pH sekitar 3 - 4 yang tergolong dalam kelas masam. Dalam Tan (2005) dikatakan bahwa beberapa unsur hara akan mengalami defisiensi dan tidak tersedia bagi tanaman ketika pH dibawah netral ( $>6,0$ ), sehingga pada penelitian ini ada kemungkinan bahwa faktor pembatas keanekaragaman tanaman yang rendah berasal dari sifat kimia tanah yang belum di uji kadar unsur hara di

dalamnya. Penelitian lain melaporkan terjadinya defisiensi unsur hara seperti P (fosfor) dan N (nitrogen) mempengaruhi pertumbuhan tanaman pada hutan di Meksiko (Fenn, 2006).

Oleh karena itu, dalam mendukung upaya konservasi dan pemulihan ekosistem hutan TNBTS sebagai penyedia jasa lingkungan perlu dilakukan kegiatan restorasi yang berkelanjutan. Kegiatan restorasi dilakukan pada hutan TNBTS yang memiliki indikator terdegradasi seperti terdapat gangguan ekosistem (alam, antropogenik, kebakaran hutan), nilai keanekaragaman jenis yang rendah, tingkat kerapatan kanopi dan kualitas tanah menurun, dan adanya spesies invasif sehingga menyebabkan menurunnya fungsi hutan secara ekologis dan hidrologis (FAO, 2011).

Guna mendukung keberhasilan dan efisiensi dari program restorasi ekosistem terdegradasi yang sudah dilakukan oleh pihak TNBTS, terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan lebih lanjut. Pemilihan jenis tanaman restorasi yang tepat, memahami karakteristik tanaman dan kesesuaian ekosistem yang ingin di restorasi, komposisi tanaman dan sejarah lahan sebelum terdegradasi, faktor biotik dan abiotik pada kawasan restorasi, estimasi keberhasilan restorasi pada kawasan tersebut, dan interaksi tanaman dengan lingkungan. Selain itu, analisis *baseline* sifat tanah (fisik, kimia, biologi), terutama penelitian lebih lanjut terhadap sifat kimia tanah untuk mengetahui unsur hara yang terdapat dalam tanah baik bersifat toksik ataupun tidak yang dapat menjadi faktor pembatas dari pertumbuhan tanaman restorasi. Dukungan dan pemahaman akan tujuan restorasi hutan dari masyarakat lokal, penelitian ekologis lebih lanjut pada kawasan hutan TNBTS, serta kebijakan dan tindakan tegas dari pemerintah dalam melindungi kawasan hutan dari berbagai cekamannya sangat diperlukan agar tujuan restorasi dan pemulihan fungsi kawasan hutan sebagai penyedia jasa lingkungan dapat berjalan linear dan berkelanjutan.

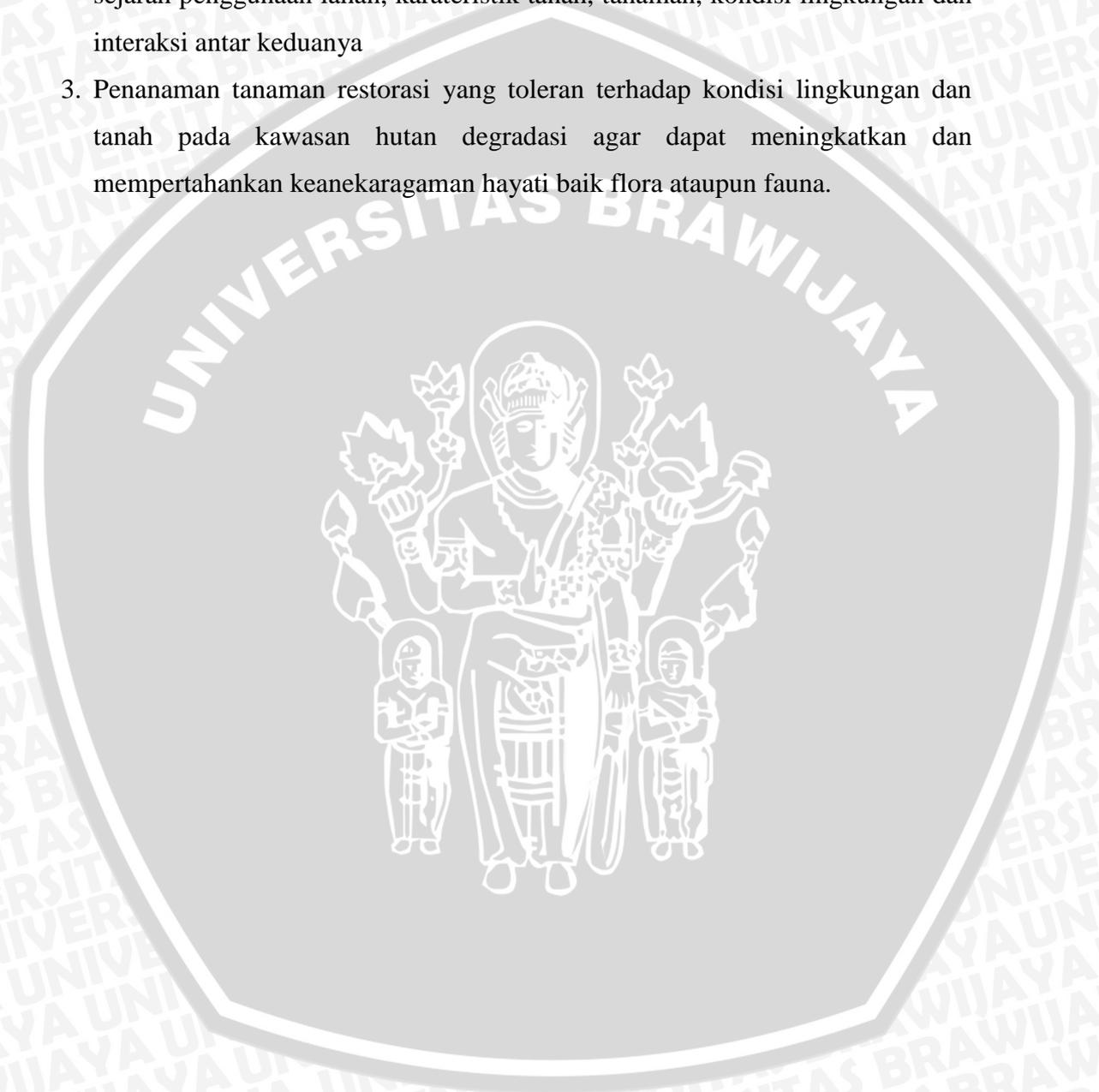
## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Nilai indeks keanekaragaman jenis flora ( $H'$ ) di hutan degradasi lebih rendah dari pada di hutan utuh. Pada stadia sapihan, pancang dan pohon tergolong 'rendah', namun hanya pada stadia semai saja yang tergolong kelas 'sedang'. Sebaliknya, di hutan utuh nilai  $H'$  tergolong kelas 'sedang' ( $1 < H' < 3$ ) pada keempat stadia pertumbuhan yaitu semai, sapihan, pancang dan pohon.
  - Pada lokasi pengamatan di kawasan hutan degradasi dan hutan utuh TNBTS ditemukan 96 jenis flora dari 47 famili, yang dibedakan dalam 4 stadia pertumbuhan (semai, sapihan, pancang, pohon). Pada hutan degradasi ditemukan 53 jenis flora sedangkan pada hutan utuh ditemukan 56 jenis floradari total keseluruhan 96 flora yang ditemukan.
  - Dominansi jenis flora berbeda antar stadia pertumbuhan. Di hutan degradasi, ada 3 jenis tanaman yang mendominasi adalah *Styphelia javanica* (stadia semai, INP=85%), pisang atau *Musa paradisiaca* (pancang, INP=193%), dan mentigen atau *Vaccinium varingiaevolium* (sapihan dan pohon, INP=147% dan 300%).
  - Di hutan utuh didominasi oleh *Eupatorium riparium* (semai, INP=105%), *Pilea melastoomoides* (sapihan, INP=146%), *Pinanga coronate* (pancang, INP=193%), dan *Acacia decurrens* (pohon, INP=287%).
2. Pada kedua jenis hutan tidak ditemukan adanya lapisan padat dalam profil tanah. Nilai penetrasi tanah pada kedua jenis hutan dan kedua kelerengan tidak berbeda, dengan nilai rata-rata  $< 0,10$  MPa sehingga tingkat kepadatan tanah di kawasan hutan TNBTS tergolong rendah. Kandungan C-organik di hutan degradasi rendah (1,79%) dan di hutan utuh rata-rata 2,71%. Sekitar 20% dari total penurunan jumlah jenis stadia pohon di TNBTS adalah berhubungan dengan peningkatan penetrasi tanah ( $R=0.2101$ ), namun hal tersebut tidak terjadi pada stadia semai, sapihan dan pancang.

## 5.2 Saran

1. Penelitian lebih lanjut yang mengkaji faktor pembatas lain bagi pertumbuhan tanaman di kawasan TNBTS (Sifat kimia, iklim, gangguan alam)
2. Pemahaman tentang *baseline* kawasan sebelum melakukan restorasi seperti sejarah penggunaan lahan, karakteristik tanah, tanaman, kondisi lingkungan dan interaksi antar keduanya
3. Penanaman tanaman restorasi yang toleran terhadap kondisi lingkungan dan tanah pada kawasan hutan degradasi agar dapat meningkatkan dan mempertahankan keanekaragaman hayati baik flora ataupun fauna.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M.H., O.H. Ahmed, A.S. Jamaluddin, N.M. Nik Ab. Majid, H. Abdul-Hamid, S. Jusop, A. Hassan, K.H. Yusof dan A. Abdu. 2010. Differences in Soil physical and Chemical Properties on Rehabilitated and Secondary Forest. *American Journal of Applied Sciences*. 7(9): 1200-1209.
- Agus, F. dan Setiari M. 2006 Penetapan Berat Jenis Partikel Tanah. Dalam: Kurnia, U. (eds.). *Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian, Bogor. 35-41.
- Ampoorter, E., P. De Frenne, M. Hermy, dan K. Verheyen. 2011. Effect of soil compaction on growth and survival of tree saplings: A meta-analysis. *Basic and Applied Ecology*. 12(5): 394-402.
- Aqila, M., dan D. Naemah. 2010. Keanekaragaman Hayati Pulau Sebuku Kabupaten Kotabaru Kalimantan Selatan. *Jurnal Hutan Tropis*. 11(30): 1 - 12.
- Arifin, Z. 2011. Analisis Nilai Indeks Kualitas Tanah Entisol pada Penggunaan Lahan yang Berbeda. *Jurnal Agroteksos*. 21(1): 1 - 8.
- Ball, B.C., D.J. Campbell, J.T. Douglas, J.K. Henshall and M.F.O' Sullivan. 1997. Soil Structural Quality, Compaction and Land Management. *European Journal of Soil Science*. 48; 593-601.
- BAPPENAS. 2003. Strategi dan Rencana Aksi Keanekaragaman Hayati Indonesia 2003-2020: IBSAP: Dokumen Nasional. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. Jakarta.
- Bassett, I.E., R. C. Simcock, dan N.D. Mitchell. 2005. Consequences of soil compaction for seedling establishment: Implications for natural regeneration and restoration. *Austral Ecology*. 30: 827 - 833.
- Beck, J., C.H. Schulze, K.E. Linsenmair, dan K. Fiedler, 2002. From forest to farmland: diversity of geometrid moths along two habitat gradients on Borneo. *Journal of Tropical Ecology*. 18(1): 33-51.
- Blouin, V.M., M.G. Schmidt, C.E. Bulmer, M. Krzic. 2008. Effects of compaction and water content on lodgepole pine seedling growth. *Forest Ecology and Management*. 255: 2444 - 2452.
- Budiyanti, S. 2015. Analisis Deskriptif Aktivitas dan Potensi Komunitas Desa 'Enclave' Ranu Pane pada Zona Pemanfaatan Tradisional, Kecamatan Senduro, Kab. Lumajang, Wilayah Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS). *Jurnal Sosiologi: Dimensi*. 8(2) : 1 - 11.

- Burgess, N. D., G. P. Clarke, dan W.A. Rodgers. 1998. Coastal forests of eastern Africa: status, endemism patterns and their potential causes. *Biological Journal of the Linnean Society*. 64: 337-367.
- Campbell, S. 2005. A global perspective on forest invasive species: the problem, causes, and consequences. <http://www.fao.org/docrep/008/ae944e/ae944e04.htm#bm04.1> (Diakses tanggal 17 Januari 2017).
- Coder, K. D. 2000. *Soil Compaction & Trees : Causes, Symptoms & Effects*. University of Georgia. Georgia.
- \_\_\_\_\_. 2000. *Soil Compaction Stress & Trees : Symptoms, Measures, treatments*. University of Georgia. Georgia.
- Dinas Kehutanan. 2009. Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) dan Upaya Mitigasi Terhadap Perubahan Iklim Global. [http://www.dephut.go.id/informasiunff/COP%2013/KPH\\_Paper\\_Ind.pdf](http://www.dephut.go.id/informasiunff/COP%2013/KPH_Paper_Ind.pdf) (Diakses tanggal 3 Agustus 2016)
- Fahmi, A.N., Y. Pantiwati, dan A. Rofieq. 2015. Keanekaragaman flora pada ekosistem hutan rakyat di desa Prancak Kabupaten Sumenep. *Prosiding Seminar nasional Pendidikan Biologi* : 328-338.
- FAO. 2011. *Assesing Forest Degradation towards The Development of globally applicable guidelines*. Food and Agriculture Organization of The United Nations.
- \_\_\_\_\_. 2015. *Status of the World's Soil Resources*. FAO. Rome.
- Fenn, M. E., V.M. Perea-Estrada, L.I. de Bauer, M. Pérez-Suárez, D.R. Parker, V.M. Cetina-Alcalá. 2006. Nutrient status and plant growth effects of forest soils in the Basin of Mexico. *Environmental Pollution*. 140:187-199
- Geonas, 2012. *Taman Nasional Bromo Tengger Semeru*. PT Berita Nusantara Jakarta Pusat.
- Gregory, P. 2006. *Plant Roots : Growth, Activity and Interactions With The Soil*. Blackwell. UK.
- Hairiah, K., I.G. Swibawa, W.S Dewi, F. K. Aini, D. Suprayogo, F.X. Susilo dan M. Van Noordwijk. 2014. Shade, litter, nematodes, earthworms, termites and companion trees in coffee agroforestry in relation to climate resilience. *Abstract of World Congress on Agroforestry*. 10-14 February 2014 Delhi, India. <http://wca2014.org/abstract/shade-litter-nematodes-earthworms-termites-and-companion-trees-in-coffee-agroforestry-in-relation-to-climate-resilience/>

- \_\_\_\_\_, P., Purnomosidhi, H., Sulistyani, D., Suprayogo, M., Van Noordwijk, Widiyanto, dan R.H., Widodo. 2006. Litter layer residence time in forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya West Lampung. *Forest Biology and Management*. 224: (45-57).
- Hakim, L. 2011. Cultural Landscapes of the Tengger Highland, East Java. In: S.-K. Hong, et al. (eds.) *Landscape Ecology in Asian Cultures*. Ecological Research Monographs, Part I, pp: 69-82, Springer Verlag, Tokyo.
- \_\_\_\_\_, dan H. Miyakawa. 2013. Plant trees species for restoration program in Ranupani, Bromo Tengger Semeru National Park, Indonesia. *Biodiversity Journal*. 4(3): 387-394
- \_\_\_\_\_, dan H. Miyakawa. 2015. Exotic plant species in the restoration project area in Ranupani recreation forest, Bromo Tengger Semeru National Park (Indonesia). *Biodiversity Journal* 6(4): 831-836.
- Hamza, M. A dan W.K. Anderson. 2005. Soil Compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil & Tillage Research*. 82:121 -145.
- Hardyanti, S. A. 2014. Pengetahuan Masyarakat Desa Ranupani Terhadap Pohon Di Hutan Tropis Pegunungan Tengger-Ranupani. *Jurnal biotropika*. 2(1): 1-7.
- Hariyati, J. R., E. Arisoelaningsih, dan L. Hakim. 2012. Seedling Growth of some Native trees in Ranu Pani - Ranu Regulo Restoration Area, Bromo Tengger Semeru National Park. *Journal of Biodiversity and Enviromental Sciences (JBES)*. 2(1): 1-4.
- \_\_\_\_\_, dan L. Hakim. 2012. Vegetation divesity quality in mountainous forest of Ranu Regulo lake area, Bromo Tengger Semeru National Park, East Java. *Journal Tropical Life Science*. 2(1): 1 - 4.
- Hattori, D., T. Kenzo, K.O. Irino, J.J. Kendawang, I. Ninomiya, K. Sakurai. Effects of soil compaction on the growth and mortality of planted dipterocarp seedlings in a logged-over tropical rainforest in Sarawak, Malaysia. 2013. *Forest Ecology and Management*. 310: 770 - 776.
- Indriyanto. 2006. *Ekologi Hutan*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Ismaini, L., M. Lailati, Rustandi, D. Sunandar. 2015. Analisis Komposisi dan Keanekaragaman tumbuhan di Gunung Dempo, Sumatera Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 1(6): 1397-1402.
- IUCN. 2012. Facts and figures on Forests. <https://www.iucn.org/content/facts-and-figures-forests> (Diakses 31 Agustus 2016)

- Jha, C.S., dan J.S Singh. 1990. Composition and dynamics of dry tropical forest in relation to soil texture. *Journal of Vegetation Science*. 1(5):609-614.
- Jouri M.H., D. Patil, R.S. Gavali, N. Safaian, dan D. Askarizadeh. 2011. Assessment of health conditions of mountain rangeland ecosystem using species diversity and richness indices, case study: Central Alborz (Iran). *Journal of Rangeland Science*. 2(1): 341- 353.
- Karima, F. 2017. Skripsi: Keanekaragaman Cacing Tanah yang Rendah Sebagai Indikator Hutan Terdegradasi (Studi Kasus: Kawasan Konservasi TNBTS). Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang
- Kompas. 2015. Sebelum Hutan Menjadi Kenangan. <http://nasional.kompas.com/read/2015/03/21/11422271/Sebelum.Hutan.Menjadi.Kenangan> (Diakses 22 Agustus 2016)
- Kurnia, U., M.S. Djunaedi., S. Marwanto. 2006. Penetapan penetrasi tanah. *Dalam* sifat fisik tanah dan metode analisisnya. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor. p 75 - 79.
- Kozlowski, T.T. 1999. Soil Compaction and Growth of Woody Plants. *Scandinavian Journal of Forest research*. 14: 569 - 619.
- Landsberg, J. D., R.E. Miller, H.W Anderson, J.S.Tepp. 2003. Bulk density and soil resistance to penetration as affected by commercial thinning in northeastern Washington. Res. Pap. PNW-RP-551. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 35 p.
- Laurance, W.F. 1999. Reflections on the Tropical Deforestation Crisis. *Biological Conservation*. 91: 109-117.
- Lavelle, P., T. Decaens., M. Aubert., S. Barot., M. Blouin., F Bureau., P. Margerie., P. Mora., dan J. P. Rossi. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biologi*. 42: S3-S15.
- Levula, J., H. Ilvesniemi, dan C.J. Westman. 2003. Relation between soil properties and tree species composition in a Scots pine-Norway spruce stand in southern Finland. *Silva Fennica*. 37(2): 205-218.
- Marpaung, A. 2006. Definisi tumbuhan bawah. [www.strukturvegetasi.com](http://www.strukturvegetasi.com). (Di akses 3 Agustus 2016)
- Mawazin dan A. Subiakto. 2013. Keanekaragaman dan Komposisi Jenis Permudaan Alam Hutan Rawa Gambut Bekas Tebangan di Riau (Species Diversity and Composition of Logged Over Peat Swamp Forest in Riau). *Forest Rehabilitation*. 1(1): 59-73.

- Mindari, W., dan R. Priyadarsini. 2011. Panduan praktikum kimia tanah. Program Studi Ilmu Tanah. Fakultas Pertanian. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran". Surabaya. 1 - 23 hlm.
- Margalef, D. R. 1958. Information theory in ecology. *Gen Syst* 3:36 – 71
- Milcu, A. 2006. The role of earthworms for plant performance and ecosystem functioning in a plant diversity gradient. Dissertation. Technische Universitat, Darmstadt.
- Mligo, C., H.V.M. Lyaruu, H.J. Ndangalasi. 2011. The effect of anthropogenic disturbances on population structure and regeneration of *Scorodophloeus fischeri* and *Manilkara sulcata* in coastal forests of Tanzania. *Southern Forests*.73(1):33-40.
- \_\_\_\_\_. 2011. Anthropogenic Disturbance on the Vegetation in Makurunge Woodland, Bagamoyo District, Tanzania. *Tanzania Journal of Science*. 37: 94-108.
- \_\_\_\_\_. 2015. Conservation of plant biodiversity of Namatimbili forest in the southern coastal forests of Tanzania. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 7(3):148-172.
- Odum, E.P.1993. Dasar-dasar ekologi (T. Samingan, Terjemahan). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Offwell Woodland and Wildlife Trust. 2008. Ancient Woodland Indicator Species. [http://www.countrysideinfo.co.uk/woodland\\_manage/indicatr.htm](http://www.countrysideinfo.co.uk/woodland_manage/indicatr.htm) (Diakses 2 September 2016)
- Omi, S.K. 1985. Soil compaction: Effects on seedling growth. USDA Forest Service GTR RM- 125.
- Osman, K.T. 2013. Physical properties of forest soil. Springer International Publishing Switzerland.
- Primack, R.B. dan E. Lovejoy. 1995. Ecology, Conservation and Management of Southeast Asian Rain- forest. Yale University Press. New Haven and London.
- \_\_\_\_\_., Supriatna, J. dan Indrawan, M. 1998. Biologi Konservasi. Ed:Kedua (rev). Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Pristiyanto, D. 2005. Taman Nasional menurut Ditjen PHKA. Dari <http://www.ditjenphka.go.id/kawasan/tn.php>.
- Putri, I. A. S. L. P., M. K., Allo. 2009. Degradasi Keanekaragaman Hayati Taman Nasional Rawa Aopa Watumohai. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 6(2) : 169 - 194.

- Rahayu, S., dan Harja, D. 2013. Konservasi Biocarbon, Lanskap dan Kearifan Lokal untuk Masa Depan. World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia. Bogor
- Rahman, M. H., M. Bahauddin, M.A.S.A. Khan, M.J. Islam, dan M.B. Uddin. 2012. Assessment of soil physical properties under plantation and deforested sites in a biodiversity conservation area of north-eastern Bangladesh. *International Journal of Environmental Sciences*. 3(3): 1-10.
- Rathod, R., dan Devar K.V. 2003. Effect of different plantations on soil physical properties, *Karnataka journal of agricultural science*. 16(3): 487-488.
- Reeuwijk, LP van. 2002. Procedures for Soil Analysis. 6th edition. Technical Paper/International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, The Netherlands.
- Roscher, C., V.M. Temperton, M. Scherer-Lorenzen, M. Schmitz, J. Schumacher, B. Schmid, N. Buchmann, W.W. Weisser, E.D. Schulze. 2005. Overyielding in experimental grassland communities – irrespective of species pool or spatial scale. *Ecoogy letters*. 8: 419–429.
- Russel, E. W. 1973. *Soil Conditions and Plant Growth*. 10<sup>th</sup> Ed. Longmans, London. pp. 479-513.
- Sari, M., dan M. Lestari. 2014. Kepadatan dan distribusi cacing tanah di areal *Arboretum dipterocarpaceae* 1.5 ha Fakultas Kehutanan Universitas Lancang Kuning Pekanbaru. *Lectura*. 5 (1): 93–103.
- Scheffler, P. 2005. Dung beetle (Coleoptera:Scarabaeidae) diversity and community structure across three disturbance regimes in eastern Amazonia. *Journal of Tropical Ecology*. 21: 9–19.
- Scull, P., dan J.R. Harman. 2004. Forest distribution and site quality in southern Lower Michigan. *Journal of Biogeography*. (31):1503-1514.
- Setyaningsih, H., K. Hairiah., W.S. Dewi. 2014. Respon cacing penggali tanah (*Ponthoscolex corethrurus*) terhadap berbagai kualitas seresah. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 1 (2): 58–69.
- Setyawan, A. D., dan Sugiyarto. 2015. Diversity of *Selaginella* in the Bromo Tengger Semeru National Park, East Java. *Pros. Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia Vol. 1 No.6* : 1312 -1317.
- Sheil, D., R.K. Puri, I. Basuki, M. van Heist, M. Wan, N. Liswanti, Rukmiyati, M. A. Sardjono, I. Samsedin, K. Sidiyasa, Chrisandini, E. Permana, E. M . Angi, F. Gatzweiler, B. Johnson dan A. Wijaya. 2002. Exploring Biological Diversity, Environment and Local Peoples Perspectives in Forest Landscapes, CIFOR, Bogor, Indonesia.

- Shukla, P. K. 2009. Nutrient dynamics of Teak plantations and their impact on soil productivity-A case study from India. XIII World Forestry Congress, Buenos Aires, Argentina, 18-23 October 2009, pp 11.
- Sinnett, D., Morgan, G., Williams, M. and Hutchings, T. 2008. Soil penetration resistance and tree root development. *Soil Use and Management*, 24 (3): 273-280.
- Singer, J. M. dan D.N., Muuns. 1996. *SOILS : an introduction* (3<sup>rd</sup> edition). University of California. Davis. Prentice Hall-inc. Asimon and Schuster Company. Upper Saddle River; New Jersey.
- Sitorus, S. R. P., B. Susanto, dan O. Haridjaja. 2011. Kriteria dan Klasifikasi Tingkat Degradasi Lahan di Lahan Kering (Studi Kasus : Lahan Kering di Kabupaten Bogor). *Jurnal Tanah dan Iklim*. 34: 1 - 18.
- Smith, K.A. dan Mullins, C.E. 1991. *Soil Analysis: Physical Methods*. Marcel Dekker Inc., New York, pp. 209-269.
- Spehn, E.M., J. Joshi, B. Schmid, J. Alpehi, C. Korner. 2000. Plant diversity effects on soil heterotrophic activity in experimental grassland ecosystems. *Plant Soil*. 224: 217-230
- Stiegler, J. H. 2004. *Soil Compaction and Crust*. Difision of Agriculture Sciences and Natural Resources. Oklahoma State University.
- Suharta, N. 2007. Sifat dan karakteristik tanah dari batuan sedimen masam di Provinsi Kalimantan Barat serta implikasinya terhadap pengelolaan lahan. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 25:11-26.
- Sunaryo, T. Uji, E. F. Tihuraa. 2012. Komposisi jenis dan potensi ancaman tumbuhan di Taman Nasional Gunung Halimun-Salak, Jawa Barat. *Berita Biologi*. 11(2): 231 - 239.
- Suprayogo, D., Widiyanto, P. Purnomosidhi, R.H. Widodo, F. Rusiana, Z. Aini, N. Khasanah, dan Z. Kusuma. 2004. Degradasi Sifat Fisik Tanah sebagai Akibat Alih Guna Lahan Hutan menjadi Sistem Kopi Monokultur: Kajian Perubahan Makroporositas Tanah. *Agrivitas*. 26: 60-68.
- Suseno, L. 2011. Keanekaragaman Tegakan Hutan dan Potensi Kandungan Karbon di Hutan Aek Nauli Kabupaten Simalungun. Tesis. USU. Sumatera Utara
- Sutarto, A. 2006. *Sekilas Tentang Masyarakat Tengger*. Universitas Jember. Jember.
- Swift MJ, Izac AMN, van Noordwijk M. 2004 .Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes: Are we asking the right questions? *Agricultre Ecosystem Environmental*. 104:113-134.

- Syarifuddin, A. 2011. Identifikasi Plasma Nutfah Vegetasi Hutan Alam resort Trisula Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS). GAMMA. 6(2): 77 – 94.
- Tamminen, P., dan M. Starr. 1994. Bulk density of forested mineral soils. *Silva Fennica*. 28(1):53-60.
- Tim Pendamping WWF - Indonesia. 2006. *Prosedur Pemantauan Flora di Kawasan Lindung*. Bogor; IPB
- Tuhono, E. 2010. *Komposisi Vegetasi dan Cadangan Karbon Tersimpan pada Tegakan Hutan di Kawasan Ekowisata Tangkahan Kecamatan Batang Serangan Kabupaten Langkat*. Tesis. USU. Medan
- Tolaka, W., Wardah, Rahmawati. 2013. Sifat Fisik Tanah pada Hutan Primer, Agroforestri, dan Kebun Kakao di Subdas Wera Saluopa Desa Leboni Kecamatan Pamona Puselemba Kabupaten Poso. *Warta Rimba*. 1(1): 1 - 8.
- Van Noordwijk, M., C. Cerri, P.L. Woomer, K. Nugroho dan M. Bernoux. 1997. Soil Carbon Dynamics in The Humid Tropical Forest Zone. *Geoderma* 79: 187-225.
- Van Steenis C.G.G.J., A. Hamzah dan M. Toha. 2006. *Flora Pegunungan Jawa (The mountain flora of Java)*. Bogor: Pusat Penelitian Biologi LIPI.
- Wahyunie, E.D., D. P. T Baskoro, M. Sofyan. 2012. Kemampuan Retensi Air dan Ketahanan Penetrasi Tanah pada Sistem Olah Tanah Intensif dan Olah Tanah Konservasi. *Jurnal Tanah Lingkungan*. (2) : 73 - 78.
- Wardle, D. A., R. D. Bardgett, J. N. Klironomos, H. Setälä, W.H. van der Putten, D. H. Wall. 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 304: 1-5.
- Whitman, A. A., Brokaw, N. V.L. & Hagan, J. M. 1997. Forest damage caused by logging of mahogany (*Swietenia macrophylla*) in northern Belize. *For. Ecol. Manage.* 92: 87–96.
- Widianto, Noveras, H., Suprayogo, D.; Widodo, R.H., Purnomosidhi, P. dan M. van Noordwijk. 2004. Alih guna lahan Hutan Menjadi Lahan Pertanian : Apakah fungsi hidrologis hutan dapat digantikan sistem kopi monokultur? *Agrivita* 26 (1): 47-52.
- Wijana, N. 2014. Analisis Komposisi dan Keanekaragaman Spesies Tumbuhan di Hutan Desa Bali Aga Tigawasa, Buleleng - Bali. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 3(1): 1 - 12.
- Wolf, B. dan G.H. Synder. 2003. *Sustainable Soils (the place of organic matter insustaining soils and their productivity)*. Haworth Press, INC. 10 Allice Street, Binghamton. New York.

## LAMPIRAN

## Lampiran 1. Geoposisi lokasi pengamatan

No	Lokasi	Koordinat		Ketinggian (mdpl)	Zonasi
		X	Y		
1	Blok Agrowulan Gn. Kundi th. 2016				
	KK1-Degradasi Bawah	716075	9127264	2607	49 M
	KK1-Degradasi Tengah	715896	9127156	2517	49 M
	KK1-Utuh Bawah	717513	9130914	2324	
	KK1-Utuh Tengah	717304	9130968	2280	49 M
2	Blok Agrowulan Gn. Kundi th. 2016 (TIDAK DIAMATI)	712745	9123284	2393	49 M
3	Blok Jemplang Coban Trisula th. 2017 (TIDAK DIAMATI)	707329	9121778	2112	49 M
4	Blok Gn. Gentong Ngijo th. 2018				
	KK4-Degradasi Bawah	710040	9120480	2299	49 M
	KK4-Degradasi Tengah	710120	9120404	2314	49 M
	KK4-Utuh Bawah	711105	9119476	2278	49 M
	KK4-Utuh Tengah	711201	9119562	2345	49 M
5	Blok Simpang Kenciri th. 2019				
	KK5a-Degradasi Bawah	710664	9120264	2353	49 M
	KK5a-Degradasi Tengah	710916	9120033	2404	49 M
	KK5a-Utuh Bawah	712009	9118327	2355	49 M
	KK5a-Utuh Tengah	711941	9128385	2379	39 M
6	Blok Mergotawang th. 2019				
	KK5b-Degradasi Bawah	704855	9115400	1254	49 M
	KK5b-Degradasi Tengah	705079	9115519	1329	49 M
	KK5b-Utuh Bawah	706749	9115942	1489	49 M
	KK5b-Utuh Tengah	706773	9116006	1653	49 M

**Lampiran 2. Morfologi Tanaman Dominan pada Hutan utuh dan degradasi TNBTS**

No.	Jenis Tanaman	Dokumentasi
1.	<i>Acacia decurrens</i> (Akasia)	
2.	<i>Pinanga coronata</i> (palem piji)	
3.	<i>Vaccinium varingaefolium</i> (mentigi)	
4.	<i>Musa paradisiaca</i> (Pisang)	

No.	Jenis Tanaman	Dokumentasi
5.	<i>Trema orientalis</i> (Anggrung)	
6.	<i>Casuarina junghuhniana</i> (cemara gunung)	
7.	<i>Paraserianthes lophanta</i> (Kemlandingan)	

**Lampiran 3. Jenis tanaman yang ditemukan di hutan utuh dan hutan degradasi**

No.	Nama Spesies	Family	Nama lokal
1	<i>Acacia decurrens</i>	<i>Fabaceae</i>	Akasia
2	<i>Acanthus ilicifolius</i>	<i>Acanthaceae</i>	-
3	<i>Acer laurinum</i>	<i>Sapindaceae</i>	Putih Dada
4	<i>Acmena acuminatissima</i>	<i>Myrtaceae</i>	Jambon
5	<i>Acrostichum aureum L.</i>	<i>Pteridaceae</i>	-
6	<i>Adenostemma lavenia</i>	<i>Asteraceae</i>	-
7	<i>Ageratum conyzoides</i>	<i>Asteraceae</i>	Wedusan
8	<i>Allium fistulosum</i>	<i>Alliaceae</i>	Daun bawang
9	<i>Amaranthus spinosus</i>	<i>Amaranthaceae</i>	Bayam hutan
10	<i>Anaphalis javanica</i>	<i>Asteraceae</i>	Senduro
11	<i>Anaphalis longifolia</i>	<i>Compositae</i>	Edelweiss
12	<i>Ardisia humilis</i>	<i>Primulaceae</i>	-
13	<i>Bidens Pilosa</i>	<i>Asteraceae</i>	Jaringan
14	<i>Bischofia javanica</i>	<i>Phyllanthaceae</i>	Gadog
15	<i>Buddleja asiatica</i>	<i>Buddlejaceae</i>	Putihan
16	<i>Camelia lanceolata</i>	<i>Theaceae</i>	-
17	<i>Camellia lanceolata</i>	<i>Theaceae</i>	-
18	<i>Casuarina Junghuniana</i>	<i>Casuarinaceae</i>	Cemara Gunung
19	<i>Cephaelis ipecacuanha</i>	<i>Rubiaceae</i>	Ulang - ulangan
20	<i>Crassocephalum crepidiodes</i>	<i>Asteraceae</i>	Junggul
21	<i>Curculigo latifolia</i>	<i>Hypoxidaceae</i>	Asem - aseman
22	<i>Cyathea tenggerensis</i>	<i>Cyatheaceae</i>	Pakis hutan
23	<i>Cynoglossum sp.</i>	<i>Boraginaceae</i>	Genjean
24	<i>Cyperus melanospermus</i>	<i>Cyperaceae</i>	-
25	<i>Daucus carota</i>	<i>Apiaceae</i>	Wortel
26	<i>Debregasia longifolia</i>	<i>Urticaceae</i>	Totongoan
27	<i>Desmodium intortum</i>	<i>Fabaceae</i>	Ketiu
28	<i>Dodonea viscosa</i>	<i>Sapindaceae</i>	Kesek
29	<i>Elatostema integrifolium</i>	<i>Urticaceae</i>	-
30	<i>Elatostema reticulatum</i>	<i>Urticaceae</i>	-
31	<i>Elatostema sp.</i>	<i>Urticaceae</i>	Loyor

32	<i>Elatostema strigosum</i>	<i>Urticaceae</i>	Nanagkaan
33	<i>Elsholtzia pubescens</i>	<i>Lamiaceae</i>	Ereg - ereg
34	<i>Engelhardia spicata</i>	<i>Juglandaceae</i>	Danglu
35	<i>Eupatorium inulifolium</i>	<i>Asteraceae</i>	Kirinyu
36	<i>Eupatorium odoratum</i>	<i>Asteraceae</i>	Triwulan
37	<i>Eupatorium riparium</i>	<i>Asteraceae</i>	Tehan
38	<i>Ficus geocarpa</i>	<i>Moraceae</i>	-
39	<i>Ficus lepigarpa</i>	<i>Moraceae</i>	-
40	<i>Ficus leptoclada</i>	<i>Moraceae</i>	-
41	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	<i>Apiaceae</i>	Adas
42	<i>Freycinetia javanica</i>	<i>Pandanaceae</i>	Pandan
43	<i>Geranium homeanum</i>	<i>Geraniaceae</i>	-
44	<i>Geranium potentilloides</i>	<i>Geraniaceae</i>	Ucak - ucakan
45	<i>Harmsioplanax</i> sp.	<i>Araliaceae</i>	Walisongo
46	<i>Homalanthus giganteus</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	Tunjung
47	<i>Hoya</i> sp.	<i>Apocynaceae</i>	-
48	<i>Laggera alata</i>	<i>Asteraceae</i>	-
49	<i>Lasianthus laevigatus</i>	<i>Rubiaceae</i>	-
50	<i>Lobelia chinensis</i>	<i>Campanulaceae</i>	-
51	<i>Macaranga</i> sp.	<i>Euphorbiaceae</i>	-
52	<i>Macaranga tanarius</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	Tutup
53	<i>Macropanax dispermus</i>	<i>Araliaceae</i>	Pampung
54	<i>Macroptilium atropurpureum</i>	<i>Fabaceae</i>	Resap
55	<i>Mallotus peltalus</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	-
56	<i>Marsilea crenata</i>	<i>Marsileaceae</i>	Semanggi
57	<i>Melatostema polyanthum</i>	<i>Melatostemaceae</i>	-
58	<i>Musa paradisiaca</i>	<i>Musaceae</i>	Pisang
59	<i>Oplimemus imbecilis</i>	<i>Poaceae</i>	-
60	<i>Paraserianthes lophanta</i>	<i>Fabaceae</i>	Kemlandingan
61	<i>Physalis minima</i>	<i>Solanaceae</i>	Cetitan
62	<i>Phytolacca americana</i>	<i>Phytolaccaceae</i>	-
63	<i>Pilea melastomoides</i>	<i>Urticaceae</i>	Poh-pohan
64	<i>Pinanga coronata</i>	<i>Arecaceae</i>	Palem Piji
65	<i>Piper</i> sp.	<i>Piperaceae</i>	-
66	<i>Pipturus argenteus</i>	<i>Urticaceae</i>	-

67	<i>Polygonum chinense</i>	<i>Polygonaceae</i>	Poroh
68	<i>Psychotria montana</i>	<i>Rubiaceae</i>	-
69	<i>Pteris sp.</i>	<i>Pteridaceae</i>	Paku - pakuan
70	<i>Pueraria phaseoloides</i>	<i>Fabaceae</i>	Jerabangan
71	<i>Ricinus communis</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	Jarak
72	<i>Rubus lineatus</i>	<i>Rosaceae</i>	-
73	<i>Rubus noveus</i>	<i>Rosaceae</i>	Calingan
74	<i>Rubus rosaefolius</i>	<i>Rosaceae</i>	-
75	<i>Rumex alpinus</i>	<i>Polygonaceae</i>	-
76	<i>Rumex crispus</i>	<i>Polygonaceae</i>	-
77	<i>Sauraiia pendula</i>	<i>Actinidiaceae</i>	Ki Leho
78	<i>Schefflera sp.</i>	<i>Araliaceae</i>	-
79	<i>Selligueia feei</i>	<i>Polypodiaceae</i>	-
80	<i>Senecio pyrophilus</i>	<i>Asteraceae</i>	lembingan
81	<i>Solanum nigrum L.</i>	<i>Solanaceae</i>	Ranti
82	<i>Solanum torvum</i>	<i>Solanaceae</i>	-
83	<i>Solanum tuberosum L.</i>	<i>Solanaceae</i>	Kentang
84	<i>Sthypellia javanica</i>	<i>Ericaceae</i>	Ladingan
85	<i>Strobilanthes crispus</i>	<i>Acanthaceae</i>	Kecibeling
86	<i>Trema Orientalis</i>	<i>Cannabaceae</i>	Anggrung
87	<i>Turpinia sphaerocarpa</i>	<i>Staphyleaceae</i>	Ki Bangkong
88	<i>Turpiria sphaeocarpa</i>	<i>Staphyleaceae</i>	Tempuyung
89	<i>Urena lobata</i>	<i>Maluaceae</i>	Pulutan
90	<i>Vaccinium varingiaefolium</i>	<i>Ericaceae</i>	Mentigi
91	<i>Vernoria sp.</i>	<i>Asteraceae</i>	-
92	<i>Wedelia urticaefolia</i>	<i>Asteraceae</i>	Kuningan
93	<i>Wendlandia dasythyrsa</i>	<i>Rubiaceae</i>	Marong
94	<i>Wendlandia sp.</i>	<i>Rubiaceae</i>	-
95	<i>Xanthosoma sagittifolium L.</i>	<i>Araceae</i>	Talas bentul
96	<i>Zapoteca tetragona</i>	<i>Fabaceae</i>	Kaliandra putih

#### Lampiran 4. Nilai INP pada berbagai stadia pertumbuhan

##### Lampiran 4a. Nilai INP pada stadia semai

Jenis hutan	Nama spesies	INP (%)
Degradasi	<i>Styphellia javanica</i>	85,29
	<i>Selligueia feei</i>	74,58
	<i>Pteris sp.</i>	70,75
	<i>Polygonum chinense</i>	59,23
	<i>Eupatorium riparium</i>	58,00
	<i>Vaccinium varingiaefolium</i>	44,48
	<i>Buddleja asiatica</i>	34,80
	<i>Wedelia urticaefolia</i>	27,19
	<i>Anaphalis longifolia</i>	25,67
	<i>Rubus niveus</i>	22,91
Utuh	<i>Eupatorium riparium</i>	129,26
	<i>Pilea melastomoides</i>	57,17
	<i>Macroptilium atropurpureum</i>	54,44
	<i>Elatostema sp.</i>	50,47
	<i>Elatostema integrifolium</i>	46,11
	<i>Eupatorium odoratum</i>	45,76
	<i>Freycinetia javanica</i>	34,08
	<i>Adenostemma lavenia</i>	31,85
	<i>Rubus rosaefolius</i>	31,16
<i>Pteris sp.</i>	26,64	

**Lampiran 4b. Nilai INP pada stadia sapihan**

Jenis hutan	Nama spesies	INP (%)
Degradasi	<i>Vaccinium varingiaefolium</i>	177,45
	<i>Buddleja asiatica</i>	83,82
	<i>Casuarina junghuhniana</i>	75,00
	<i>Paraserianthes lophanta</i>	58,33
	<i>Anaphalis longifolia</i>	56,13
	<i>Buddleja asiatica</i>	50,00
	<i>Ageratum conyzoides</i>	42,65
	<i>Dodonea viscosa</i>	26,45
	<i>Acacia decurrens</i>	18,38
	<i>Solanum nigrum L.</i>	16,67
Utuh	<i>Eupatorium odoratum</i>	156,61
	<i>Pilea melastomoides</i>	145,83
	<i>Vernoria sp.</i>	59,01
	<i>Pinanga coronata</i>	57,36
	<i>Eupatorium inulifolium</i>	54,35
	<i>Sauria pendula</i>	45,00
	<i>Vernonia sp.</i>	43,39
	<i>Cyathea tenggerensis</i>	41,67
	<i>Harmsioplanax sp.</i>	41,44
	<i>Urena lobata</i>	31,82

**Lampiran 4c. Nilai INP stadia pancang**

Jenis hutan	Nama spesies	INP (%)
Degradasi	<i>Vaccinium varingiaefolium</i>	300,00
	<i>Musa paradisiaca</i>	300,00
	<i>Paraserianthes lophanta</i>	173,99
	<i>Acasia decurrens</i>	164,70
	<i>Casuarina Junghuniana</i>	135,30
	<i>Anaphalis javanica</i>	128,43
	<i>Buddleja asiatica</i>	107,81
	<i>Ricinus communis</i>	95,67
Utuh	<i>Acacia decurrens</i>	196,15
	<i>Pinanga coronata</i>	193,26
	<i>Sauria pendula</i>	177,20
	<i>Cyathea tenggerensis</i>	126,42
	<i>Camelia lanceolata</i>	122,15
	<i>Harmsioplanax sp.</i>	121,78
	<i>Vernonia sp.</i>	117,36
	<i>Ficus lepicarpa</i>	106,74
<i>Pilea melastomoides</i>	103,85	
<i>Pinanga coronata</i>	97,73	

#### Lampiran 4d. Nilai INP pada stadia pohon

Jenis hutan	Nama spesies	INP (%)
Degradasi	<i>Vaccinium varingiaefolium</i>	300
	<i>Musa paradisiaca</i>	262,09
	<i>Paraserianthes lophanta</i>	242,86
	<i>Acacia decurrens</i>	194,75
	<i>Zapoteca tetragona</i>	56,08
	<i>Buddleja asiatica</i>	28,83
	<i>Casuarina junghuhniana</i>	21,65
	<i>Ficus lepicarpa</i>	19,73
	<i>Pilea melastomoides</i>	18,19
	Utuh	<i>Acasia decurrens</i>
<i>Trema orientalis</i>		186,33
<i>Casuarina junghuhniana</i>		158,56
<i>Mallotus peltalus</i>		105,71
<i>Wendlandia dasythyrsa</i>		78,51
<i>Homolanthus giganteus</i>		65,65
<i>Cyathea tenggerensis</i>		64,13
<i>Turpinia sphaerocarpa</i>		63,45
<i>Sauraiia pendula</i>		51,49
<i>Acmena acuminatissima</i>		39,30

**Lampiran 5. Hasil analisis ragam Indeks keanekaragaman flora (H') pada berbagai stadia pertumbuhan**

**Lampiran 5a. Hasil analisis ragam indeks H' stadia semai**

SK	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	0,1014	0,1014	0,18 tn	0,678	0,374
Lereng	1	0,5948	0,5948	1,06 tn	0,323	0,374
Jenis Hutan x Lereng	1	0,2396	0,2396	0,43 tn	0,526	0,529

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

**Lampiran 5b. Hasil analisis ragam indeks H' stadia sapihan**

SK	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	22.564	22.564	5,12*	0,043	0,332
Lereng	1	0	0	0 tn	0,997	0,332
Jenis Hutan x Lereng	1	0,1558	0,1558	0,35 tn	0,563	0,470

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

**Lampiran 5c. Hasil analisis ragam indeks H' stadia pancang**

SK	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	0,906	0,906	7,64*	0,017	0,172
Lereng	1	0,256	0,256	2,16 tn	0,167	0,172
Jenis Hutan x Lereng	1	0,106	0,106	0,9 tn	0,362	0,243

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

**Lampiran 5d. Hasil analisis ragam indeks H' stadia pohon**

SK	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	22.772	22.772	7,88*	0,016	0,172
Lereng	1	0,0103	0,0103	0,04 tn	0,853	0,172
Jenis Hutan x Lereng	1	0,041	0,041	0,14 tn	0,713	0,243

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

**Lampiran 6. Rata - rata indeks keanekaragaman flora ( $H'$ ) pada berbagai stadia pertumbuhan**

**Lampiran 6a. Rata - rata indeks  $H'$  stadia semai**

Sumber Keragaman		$H'$	Notasi
Jenis Hutan	Degradasi	1,68	a
	Utuh	1,52	a
	Mean	1,60	
	s.e.d	0,374	
Kelerengan	Bawah	1,79	a
	Tengah	1,41	a
	Mean	1,60	
	s.e.d	0,374	

**Lampiran 6b. Rata - rata indeks  $H'$  stadia sapihan**

Sumber Keragaman		$H'$	Notasi
Jenis Hutan	Degradasi	0,59	a
	Utuh	1,34	a
	Mean	0,965	
	s.e.d	0,332	
Kelerengan	Bawah	0,96	a
	Tengah	0,96	a
	Mean	0,96	
	s.e.d	0,332	

**Lampiran 6c. Rata - rata indeks  $H'$  stadia pancang**

Sumber Keragaman		$H'$	Notasi
Jenis Hutan	Degradasi	0,493	a
	Utuh	0,969	a
	Mean	0,731	
	s.e.d	0,172	
Kelerengan	Bawah	0,604	a
	Tengah	0,857	a
	Mean	0,731	
	s.e.d	0,172	

**Lampiran 6d. Rata - rata indeks  $H'$  stadia pohon**

Sumber Keragaman		$H'$	Notasi
Jenis Hutan	Degradasi	0,493	a
	Utuh	0,969	a
	Mean	0,731	
	s.e.d	0,172	
Kelerengan	Bawah	0,604	a
	Tengah	0,857	a
	Mean	0,731	
	s.e.d	0,172	

**Lampiran 7. Hasil analisis ragam Indeks kekayaan jenis tanaman (R) pada berbagai stadia pertumbuhan**

**Lampiran 7a. Hasil analisis ragam indeks R stadia semai**

SK	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	0,451	0,451	0,39	0,545	0,539
Lereng	1	0,008	0,008	0,01	0,937	0,539
Jenis Hutan x Lereng	1	0,68	0,68	0,59	0,459	0,762

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

**Lampiran 7b. Hasil analisis ragam indeks R stadia sapihan**

SK	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	23,504	23,504	3,2 tn	0,099	0,429
Lereng	1	0,705	0,705	0,96 tn	0,347	0,429
Jenis Hutan x Lereng	1	14,822	14,822	2,02 tn	0,181	0,606

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

**Lampiran 7c. Hasil analisis ragam indeks R stadia pancang**

SK	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	10,191	10,191	5,05*	0,044	0,225
Lereng	1	0,1263	0,1263	0,63 tn	0,444	0,225
Jenis Hutan x Lereng	1	0,3071	0,3071	1,52 tn	0,241	0,318

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

**Lampiran 7d. Hasil analisis ragam indeks R stadia pohon**

SK	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	17,985	17,985	7,04*	0,021	0,253
Lereng	1	0,0178	0,0178	0,07 tn	0,797	0,253
Jenis Hutan x Lereng	1	0,0016	0,0016	0,01 tn	0,938	0,357

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

**Lampiran 8. Rata - rata indeks kekayaan jenis flora (R) pada berbagai stadia pertumbuhan**

**Lampiran 8a. Rata - rata indeks R stadia semai**

Sumber Keragaman		R	Notasi
Jenis Hutan	Degradasi	2,72	a
	Utuh	2,38	a
	Mean	2,55	
	s.e.d	0,539	
Kelerengan	Bawah	2,54	a
	Tengah	2,61	a
	Mean	2,575	
	s.e.d	0,539	

**Lampiran 8b. Rata - rata indeks R stadia sapihan**

Sumber Keragaman		R	Notasi
Jenis Hutan	Degradasi	0,58	a
	Utuh	1,35	a
	Mean	0,965	
	s.e.d	0,429	
Kelerengan	Bawah	1,17	a
	Tengah	0,75	a
	Mean	0,960	
	s.e.d	0,429	

**Lampiran 8c. Rata - rata indeks R stadia pancang**

Sumber Keragaman		R	Notasi
Jenis Hutan	Degradasi	0,59	a
	Utuh	1,09	b
	Mean	0,84	
	s.e.d	0,225	
Kelerengan	Bawah	0,75	a
	Tengah	0,93	a
	Mean	0,840	
	s.e.d	0,225	

**Lampiran 8d. Rata - rata indeks R stadia pohon**

Sumber Keragaman		R	Notasi
Jenis Hutan	Degradasi	0,27	a
	Utuh	0,94	b
	Mean	0,605	
	s.e.d	0,253	
Kelerengan	Bawah	0,58	a
	Tengah	0,64	a
	Mean	0,610	
	s.e.d	0,253	

**Lampiran 9. Hasil analisis ragam Indeks pemerataan jenis flora (E) pada berbagai stadia pertumbuhan**

**Lampiran 9a. Hasil analisis ragam indeks E stadia semai**

SK	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	0,0990	0,0990	2,73 tn	0,124	0,095
Lereng	1	0,0648	0,0648	1,79 tn	0,206	0,095
Jenis Hutan x Lereng	1	0,0068	0,0068	0,19 tn	0,673	0,135

*Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata*

**Lampiran 9b. Hasil analisis ragam indeks E stadia sapihan**

SK	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	0,1827	0,1827	1,01 tn	0,335	0,213
Lereng	1	0,0317	0,0317	0,17 tn	0,683	0,213
Jenis Hutan x Lereng	1	0,0496	0,0496	0,27 tn	0,611	0,301

*Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata*

**Lampiran 9c. Hasil analisis ragam indeks E stadia pancang**

SK	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	0,137	0,137	0,86 tn	0,373	0,200
Lereng	1	0,030	0,030	0,19 tn	0,673	0,200
Jenis Hutan x Lereng	1	0,023	0,023	0,14 tn	0,713	0,283

*Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata*

**Lampiran 9d. Hasil analisis ragam indeks E stadia pohon**

SK	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	0,5282	0,5282	4,92*	0,047	0,164
Lereng	1	0,0003	0,0003	0 tn	0,956	0,164
Jenis Hutan x Lereng	1	0,0004	0,0004	0 tn	0,954	0,232

*Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata*

**Lampiran 10. Rata - rata indeks pemerataan jenis flora (E) pada berbagai stadia pertumbuhan**

**Lampiran 10a. Rata - rata indeks E stadia semai**

Sumber Keragaman		E	Notasi
Jenis Hutan	Degradasi	0,648	a
	Utuh	0,49	a
	Mean	0,569	
	s.e.d	0,095	
Kelerengan	Bawah	0,633	a
	Tengah	0,506	a
	Mean	0,570	
	s.e.d	0,095	

**Lampiran 10b. Rata - rata indeks E stadia sapihan**

Sumber Keragaman		E	Notasi
Jenis Hutan	Degradasi	0,32	a
	Utuh	0,54	a
	Mean	0,43	
	s.e.d	0,213	
Kelerengan	Bawah	0,39	a
	Tengah	0,48	a
	Mean	0,435	
	s.e.d	0,213	

**Lampiran 10c. Rata - rata indeks E stadia pancang**

Sumber Keragaman		E	Notasi
Jenis Hutan	Degradasi	0,58	a
	Utuh	0,77	a
	Mean	0,67	
	s.e.d	0,20	
Kelerengan	Bawah	0,63	a
	Tengah	0,72	a
	Mean	0,67	
	s.e.d	0,20	

**Lampiran 10d. Rata - rata indeks E stadia pohon**

Sumber Keragaman		E	Notasi
Jenis Hutan	Degradasi	0,23	a
	Utuh	0,594	b
	Mean	0,412	
	s.e.d	0,164	
Kelerengan	Bawah	0,408	a
	Tengah	0,417	a
	Mean	0,413	
	s.e.d	0,164	

**Lampiran 11. Analisis ragam sifat fisik tanah pada hutan utuh dan hutan degradasi TNBTS**

**Lampiran 11a. Analisis ragam partikel pasir**

Sumber Keragaman	db	Pasir			Fhit	F 5%	s.e.d
		JK	KT				
Jenis Hutan	1	72,30	72,30		0,45 tn	0,51	3,70
Lereng	1	36,00	36,00		0,25 tn	0,62	3,50
Kedalaman Tanah	2	219,72	109,86		2,04 tn	0,15	2,60
Jenis Hutan x Lereng	2	78,80	39,40		0,24 tn	0,79	5,20
Lereng x Kedalaman	4	301,10	75,30		0,53 tn	0,72	6,00
Jenis Hutan x Lereng x Kedalaman	8	315,00	39,40		0,24 tn	0,98	9,00

*Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata*

**Lampiran 11b. Analisis ragam partikel debu**

Sumber Keragaman	db	Debu			Fhit	F 5%	s.e.d
		JK	KT				
Jenis Hutan	1	510,14	510,14		6,44 *	0,02	2,60
Lereng	1	96,84	96,84		1,34 tn	0,25	2,50
Kedalaman Tanah	2	126,93	63,46		0,80 tn	0,46	3,10
Jenis Hutan x Lereng	2	212,97	106,48		1,35 tn	0,27	3,60
Lereng x Kedalaman	4	264,53	66,13		0,91 tn	0,47	4,30
Jenis Hutan x Lereng x Kedalaman	8	267,69	33,46		0,42 tn	0,90	6,30

*Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata*

**Lampiran 11c. Analisis ragam partikel liat**

Sumber Keragaman	db	Liat			Fhit	F 5%	s.e.d
		JK	KT				
Jenis Hutan	1	213,22	213,22	6,56 *	0,02	1,60	
Lereng	1	14,02	14,02	0,48 tn	0,49	1,60	
Kedalaman Tanah	2	12,88	6,44	0,20 tn	0,82	2,00	
Jenis Hutan x Lereng	2	30,38	15,19	0,47 tn	0,63	2,30	
Lereng x Kedalaman	4	22,88	5,72	0,20 tn	0,94	2,70	
Jenis Hutan x Lereng x Kedalaman	8	30,99	3,87	0,12 tn	1,00	4,00	

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

**Lampiran 11d. Analisis ragam berat isi (BI) tanah**

Sumber Keragaman	db	Berat Isi			Fhit	F 5%	s.e.d
		JK	KT				
Jenis Hutan	1	0,08	0,08	2,75 tn	0,11	0,05	
Lereng	1	0,00	0,00	0 tn	0,96	0,05	
Kedalaman Tanah	2	0,20	0,10	3,57*	0,04	0,06	
Jenis Hutan x Lereng	1	0,02	0,02	0,86 tn	0,36	0,07	
Lereng x Kedalaman	2	0,00	0,00	0,05 tn	0,95	0,08	
Jenis Hutan x Lereng x Kedalaman	2	0,02	0,01	0,27 tn	0,77	0,11	

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

**Lampiran 11e. Analisis ragam berat jenis (BJ) tanah**

Sumber Keragaman	Berat Jenis					
	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	0,02	0,02	0,91 tn	0,35	0,04
Lereng	1	0,00	0,00	0,02 tn	0,88	0,04
Kedalaman Tanah	2	0,17	0,08	4,27*	0,02	0,05
Jenis Hutan x Lereng	1	0,04	0,04	2,11 tn	0,16	0,06
Lereng x Kedalaman	2	0,12	0,06	3,11 tn	0,06	0,07
Jenis Hutan x Lereng x Kedalaman	2	0,01	0,01	0,31 tn	0,73	0,10

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

**Lampiran 11f. Analisis ragam porositas tanah**

Sumber Keragaman	Porositas					
	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	146,25	146,25	2,32 tn	0,14	2,29
Lereng	1	0,57	0,57	0,01 tn	0,922	2,21
Kedalaman Tanah	2	253,69	126,85	3,82 *	0,037	2,04
Jenis Hutan x Lereng	2	6,04	3,02	0,05 tn	0,95	3,24
Lereng x Kedalaman	4	325,15	81,29	1,39 tn	0,26	3,83
Jenis Hutan x Lereng x Kedalaman	8	454,07	56,76	0,9 tn	0,53	5,62

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

**Lampiran 11g. Analisis ragam penetrasi tanah**

Sumber Keragaman	Penetrasi					
	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	0,0008	0,0008	0,85 tn	0,36	0,01
Lereng	1	0,0024	0,0024	2,79 tn	0,10	0,01
Kedalaman Tanah	2	0,0027	0,0014	1,42 tn	0,25	0,01
Jenis Hutan x Lereng	2	0,0024	0,0012	1,25 tn	0,30	0,01
Lereng x Kedalaman	4	0,0033	0,0008	0,96 tn	0,44	0,02
Jenis Hutan x Lereng x Kedalaman	8	0,0039	0,0005	0,51 tn	0,84	0,02

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

## Lampiran 12. Analisis ragam sifat kimia tanah pada hutan utuh dan hutan degradasi

### Lampiran 12a. Analisis ragam pH H<sub>2</sub>O

Sumber Keragaman	pH H <sub>2</sub> O					
	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	4,97	4,97	9,95*	0,003	0,204
Lereng	1	0,31	0,31	0,7 tn	0,409	0,191
Kedalaman Tanah	2	0,01	0,01	0,01 tn	0,988	0,250
Jenis Hutan x Lereng	2	0,33	0,16	0,33 tn	0,723	0,288
Lereng x Kedalaman	4	0,09	0,02	0,05 tn	0,995	0,332
Jenis Hutan x Lereng x Kedalaman	8	0,14	0,02	0,03 tn	1,000	0,500

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

### Lampiran 12b. Analisis ragam pH KCl

Sumber Keragaman	pH KCl					
	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	0,92	0,92	3,2 tn	0,08	0,16
Lereng	1	0,63	0,63	2,34 tn	0,13	0,15
Kedalaman Tanah	2	0,01	0,01	0,02 tn	0,98	0,19
Jenis Hutan x Lereng	2	1,00	0,50	1,72 tn	0,19	0,22
Lereng x Kedalaman	4	0,08	0,02	0,08 tn	0,99	0,26
Jenis Hutan x Lereng x Kedalaman	5	0,62	0,13	0,43 tn	0,82	0,38

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

### Lampiran 12c. Analisis ragam C-organik

Sumber Keragaman	C-Organik					
	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	10,08	10,08	4.33 *	0,05	0,44
Lereng	1	0,61	0,61	0.27 tn	0,61	0,43
Kedalaman Tanah	2	15,26	7,63	3.28 *	0,05	0,54
Jenis Hutan x Lereng	2	1,17	0,59	0.25 tn	0,78	0,62
Lereng x Kedalaman	4	15,54	3,89	1.72 tn	0,17	0,75
Jenis Hutan x Lereng x Kedalaman	8	23,97	2,96	1.29 tn	0,28	1,08

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

**Lampiran 12d. Analisis ragam Corg/Cref**

Sumber Keragaman	Corg/Cref					
	db	JK	KT	Fhit	F 5%	s.e.d
Jenis Hutan	1	0,340	0,340	515 *	0,029	0,074
Lereng	1	0,014	0,014	0,21 tn	0,646	0,074
Kedalaman Tanah	2	0,452	0,226	3,42 *	0,044	0,091
Jenis Hutan x Lereng	1	0,004	0,004	0,06 tn	0,809	0,105
Lereng x Kedalaman	2	0,005	0,003	0,04 tn	0,961	0,129
Jenis Hutan x Lereng x Kedalaman	2	0,002	0,001	0,01 tn	0,988	0,182

Ket: \* : berbeda nyata, \*\* : sangat beda nyata, tn: tidak beda nyata

**Lampiran 13. Data rata - rata sifat fisik tanah pada hutan utuh dan hutan degradasi**

Sumber Keragaman	Variabel						
		Pasir	Debu	Klei			
Jenis Hutan	Degradasi	35,00	a	56,00	b	9,00	a
	Utuh	38,00	a	49,00	a	13,00	b
	Mean	36,5		52,5		11	
	s.e.d	3,70		2,60		1,60	
Kelerengan	Bawah	36,00	a	54,00	a	11,00	a
	Tengah	37,00	a	51,00	a	12,00	a
	Mean	36,5		52,5		11,5	
	s.e.d	3,50		2,50		1,60	
Kedalaman Tanah (cm)	0-10	33,66	a	50,60	a	10,51	a
	10-20	36,60	a	52,35	a	11,11	a
	20-30	38,89	a	54,58	a	11,77	a
	Mean	36,38		52,51		11,13	
	s.e.d	2,60		3,10		2,00	

Sumber Keragaman		Variabel							
		BI	BJ	Porositas		Penetrasi			
Jenis Hutan	Degradasi	0,86	a	2,23	a	61,17	a	0,09	a
	Utuh	0,78	a	2,19	a	64,66	a	0,10	a
	Mean	0,82		2,21		62,92		0,10	
	s.e.d	0,05		0,04		2,29		0,01	
Kelerengan	Bawah	0,82	a	2,22	a	63,02	a	0,09	a
	Tengah	0,82	a	2,21	a	62,81	a	0,10	a
	Mean	0,82		2,21		62,92		0,10	
	s.e.d	0,05		0,04		2,21		0,01	
Kedalaman Tanah (cm)	0-10	0,73	a	2,14	a	66,00	b	0,09	a
	10-20	0,86	b	2,28	b	62,27	ab	0,10	a
	20-30	0,87	b	2,22	ab	60,48	a	0,11	a
	Mean	0,82		2,21		62,92		0,10	
	s.e.d	0,06		0,05		2,04		0,01	

**Lampiran 14. Data rata - rata sifat kimia tanah pada hutan utuh dan hutan degradasi**

Sumber Keragaman		Variabel							
		pH H <sub>2</sub> O		pH KCl		Corg		Corg/Cref	
Jenis Hutan	Degradasi	4,35	a	4,83	a	1,79	a	0,25	a
	Utuh	4,99	b	5,11	a	2,71	b	0,37	b
	Mean	4,67		4,97		2,25		0,31	
	s.e.d	0,20		0,16		0,25		0,07	
Kelerengan	Bawah	4,75	a	5,08	b	2,14	a	0,27	a
	Tengah	4,59	a	4,86	a	2,36	a	0,35	a
	Mean	4,67		4,97		2,25		0,31	
	s.e.d	0,19		0,15		0,43		0,07	
Kedalaman Tanah (cm)	0-10	4,67	a	4,96	a	3,01	b	0,42	b
	10-20	4,69	a	4,96	a	2,07	ab	0,28	ab
	20-30	4,65	a	5,00	a	1,66	a	0,23	a
	Mean	4,67		4,97		2,25		0,31	
	s.e.d	0,25		0,19		0,61		0,08	