

PEMETAAN PERUBAHAN FOREST CANOPY DENSITY DI KPH KUNINGAN

Ardhianto Muhammad^{*)}, Lilik Budi Prasetyo^{*)}, Agus Priyono Kartono^{*)}

^{*)}DKSHE, Fahutan, Institut Pertanian Bogor

e-mail: ardhiantomuhammad@gmail.com

Abstract

Changes in the quality of the forest, including forest degradation, can be estimated by measuring the density of the forest canopy. Forest canopy density (FCD) is influenced by variables such as leaf area index, basal area and stand density. The analysis of Landsat imagery acquired in 1991, 2002 and 2012 showed that FCD in KPH Kuningan area has changed. During the period of 1991-2002, the decreased FCD was about 206.68 ha, meanwhile 4504.18 ha area has showed an increase. In the period of 2002-2012, the decreased FCD was 1826.72 ha and 3311.82 ha increase. Among the three variables tested, stand density has the strongest association with FCD ($R^2 = 0.79$) and its relation was follow equation of Stand density (KT) = $7.05 + 4.73FCD$. The error accuracy of prediction model was 6.2%, which means that the model has high accuracy.

Key Words: *Bassal Area, Forest Canopy Density, Forest Degradation, Leaf Area Index, Stand Density*

Abstrak

Perubahan kualitas hutan, termasuk degradasi hutan, dapat diduga melalui pengukuran kerapatan kanopi hutan. Kerapatan kanopi hutan (*forest canopy density*=FCD) dipengaruhi oleh peubah-peubah seperti *leaf area index*, basal area dan kerapatan tegakan. Analisis terhadap citra landsat tahun 1991, 2002, dan 2012 menunjukkan bahwa di wilayah KPH Kuningan terjadi perubahan kerapatan kanopi. Pada rentang tahun 1991-2002, wilayah KPH Kuningan mengalami penurunan FCD sebesar 206.68 ha dan 4504.18 ha wilayahnya menunjukkan peningkatan FCD. Kemudian terjadi penurunan FCD sebesar 1826.72 ha dan peningkatan FCD sebesar 3311.82 ha pada rentang tahun 2002-2012. Diantara tiga peubah yang diuji, kerapatan tegakan merupakan peubah yang memiliki hubungan paling kuat dengan FCD ($R^2=0.79$) dan membentuk persamaan Kerapatan Tegakan (KT) = $7.05 + 4.73FCD$. Perhitungan ketepatan dari model pendugaan kerapatan tegakan menunjukkan nilai 6.2%, yang artinya model memiliki ketepatan yang tinggi.

Kata Kunci: *Degradasi Hutan, Kerapatan Kanopi Hutan, Kerapatan Tegakan, Leaf Area Index, Luas Bidang Dasar*

1. Pendahuluan

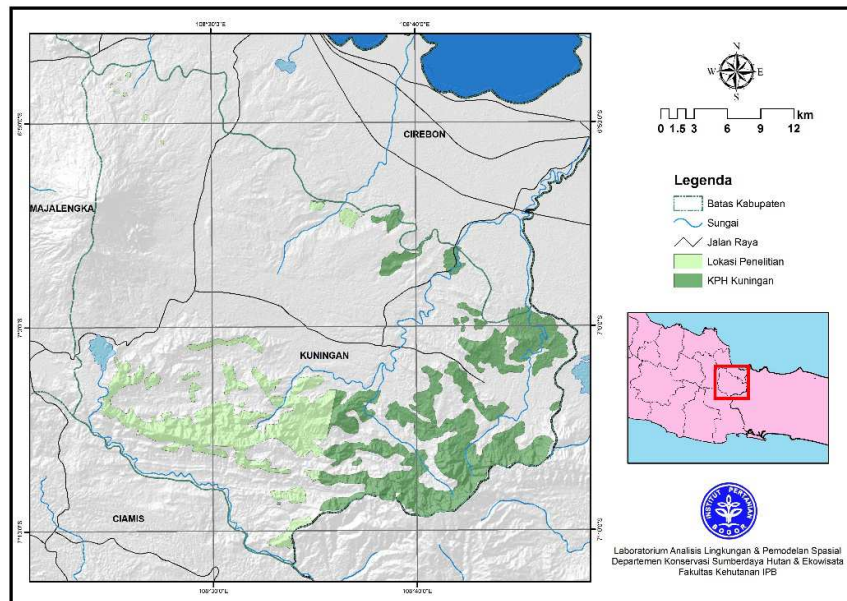
Degradasi hutan adalah proses yang mengarah ke kerusakan sementara atau permanen pada kepadatan atau struktur tutupan vegetasi atau komposisi spesiesnya (Grainger 1993). Pemantauan perubahan hutan di daerah yang mengalami degradasi dengan penginderaan jauh lebih menantang dari pemantauan deforestasi. Deforestasi mudah terdeteksi terutama bila terjadi pada skala besar, namun degradasi hutan, seperti hilangnya beberapa pohon per hektar oleh tebang pilih, semak oleh api, atau cabang dan pohon kecil untuk kayu bakar jauh lebih sulit untuk diamati dari jarak jauh. Aktivitas ini hanya sedikit memengaruhi penutupan kanopi hutan tetapi dapat mempengaruhi *forest stock* secara signifikan (Defries 2007 diacu Mudiyarso 2008).

Oleh karena itu, penilaian status hutan perlu dilakukan dengan pendekatan baru yang mampu menunjukkan fenomena pertumbuhan hutan. Menurut Azizi (2008), untuk pengelolaan hutan yang lebih baik, perubahan kerapatan harus dipertimbangkan. Monitoring kerapatan kanopi hutan memungkinkan melihat perubahan kondisi hutan dari waktu ke waktu termasuk degradasi hutan. Kriteria untuk menentukan hutan tergedradasi di lapangan dengan menggunakan peubah yaitu tegakan, indikator kanopi dan *leaf area index* (Sprintsin *et al*, 2009). Penggunaan peubah-peubah tersebut dimaksudkan untuk

menghasilkan peubah terbaik untuk indikator degradasi hutan. Tujuan dari penelitian ini adalah menduga perubahan *forest canopy density* (FCD) secara spasial dan temporal, juga menduga hubungan antara antara FCD dengan *leaf area index* (LAI), luas bidang dasar tegakan (LBDT), dan kerapatan tegakan (KT).

2. Metodologi

Penelitian dilaksanakan di Perhutani KPH Kuningan, pada bulan Oktober sampai Desember 2012. Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Analisis Lingkungan dan Pemodelan Spasial, Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan IPB. Penelitian ini hanya mengambil lokasi 33.23% dari luas total KPH Kuningan (29684.34 ha). Hal tersebut dilakukan karena citra satelit landsat tahun 2012 mengalami kerusakan (*striping*) pada sebagian besar *image*-nya. Oleh karena itu, lokasi penelitian hanya mengambil lokasi yang tidak mengalami *striping* agar hasil analisis yang didapat lebih akurat.



Gambar 2-1 Lokasi Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan yaitu kamera DSLR, lensa *fisheye*, GPS Garmin 62 Csx, perlengkapan analisis vegetasi, *software* ArcGIS 9.3, Erdas Imagine 9.1, Global Mapper 13, Hemiview, FCD Mapper v.2, Garmin Base Camp, citra satelit Landsat, DEM, peta batas KPH Kuningan, dan peta jaringan sungai dan jalan. Kemudian data yang diambil yaitu data vegetasi dan titik koordinat plot sampel, foto tajuk, serta literatur kondisi tegakan, kelas umur, dan kelas perusahaan.

Data vegetasi yang diambil berupa data kerapatan tegakan dan luas bidang dasar dilakukan dengan menggunakan metode analisis vegetasi. Plot sampel analisis vegetasi berjumlah 63 buah (44 buah model dan 19 buah validasi) yang ditempatkan secara *purposive sampling* berdasarkan kelas kerapatan kanopi hutan dan kondisi topografi di lapangan. Ukuran plot di lapangan dengan menggunakan citra resolusi 30 m x 30 m adalah dengan ukuran 50 m x 50 m (Huang *et al.* 2006). Foto tajuk diambil dengan metode *hemiview photograph* menggunakan kamera DLSR berlensa *fisheye*. Lokasi pengambilan foto tajuk

sesuai dengan lokasi plot analisis vegetasi. Kemudian studi literatur dilakukan untuk mendapatkan informasi kondisi umum lapangan, seperti kondisi tegakan, kelas perusahaan, kelas umur tegakan, dan kegiatan pengelolaan KPH Kuningan.

Secara umum terdapat empat tahapan pengolahan dan analisis data, yakni pembuatan peta FCD, deteksi perubahan, analisis regresi, dan validasi model. Pembuatan peta FCD dilakukan dengan menggunakan *software* FCD Mapper. Metode ini dapat mengakomodasi variasi permasalahan gangguan atmosfer citra ataupun pengaruh latar belakang vegetasi. Metode ini dapat mengurangi efek dari bias dan menghasilkan ekstraksi kenampakan yang lebih baik pada obyek yang spesifik di bumi. FCD model merupakan kombinasi dari indeks vegetasi, tanah, bayangan hutan dan suhu.

Perubahan FCD dideteksi dengan metode *thresholding histogram* dimana perubahan ambang satu nilai standar deviasi di bawah dan di atas nilai *mean* dipilih seperti disarankan Lunetta dan Elvidge dan Sohl (Prasetyo 2003). Hasil analisisnya adalah *image* kelas perubahan tematik yang menunjukkan informasi daerah yang tidak ada perubahan dan yang ada perubahan. Kemudian analisis regresi dengan model regresi sederhana karena model ini akan lebih stabil karena menggunakan persamaan linier tanpa melakukan modifikasi kurva. Model linier sederhana (Duan 1991);

$$y = \alpha + \beta x + e, \quad e | x \sim N(0, \sigma^2) \quad (2-1)$$

Model yang digunakan untuk menduga LAI, LBDT dan KT adalah model penduga yang berasal dari variabel penduga (FCD) dengan nilai R² terbesar. Model pendugaan yang memiliki koefisien determinasi terbesar dipilih untuk kemudian dilakukan validasi. Validasi model pendugaan dilakukan untuk mengetahui ketepatan dari model pendugaan yang dipilih.

$$A = \left| \frac{\bar{y} - \bar{x}}{\bar{x}} \right| \times 100\% \quad (2-2)$$

2. Hasil dan Pembahasan

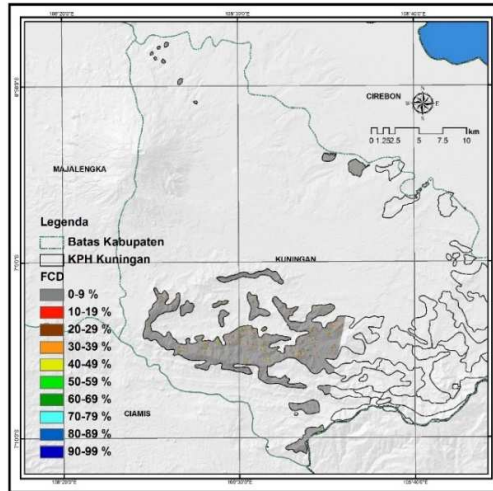
2.1 Klasifikasi FCD

Pemetaan FCD menggunakan kerapatan kanopi hutan sebagai parameter esensial dalam mengkarakterisasi kondisi hutan. Data FCD dapat mengindikasikan derajat degradasi hutan, serta dapat mengindikasikan intensitas perlakuan rehabilitasi yang mungkin diperlukan (Rikimaru 2002). Klasifikasi FCD memiliki rentang nilai 0-100% yang menunjukkan persentase kerapatan kanopi vegetasi suatu tegakan. Hasil klasifikasi FCD menunjukkan bahwa KPH Kuningan memiliki penutupan kanopi dari yang terendah hingga yang tertinggi. Klasifikasi FCD yang dilakukan terhadap tiga waktu berbeda yakni tahun 1991, 2002, dan 2012 menunjukkan perbedaan FCD yang terlihat pada luas tiap kelas seperti disajikan dalam Tabel 3-1.

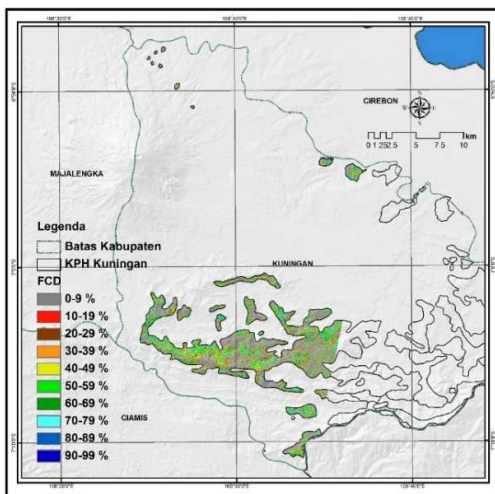
Data tersebut menunjukkan pada tahun 1991, kerapatan kanopi sangat didominasi oleh kelas FCD 0-9% yang menunjukkan masih banyak lahan terbuka atau *woodlands*. Selain lahan terbuka, kondisi hutan KPH Kuningan pada tahun 1991 masih didominasi tegakan muda. Tahun 2002, kelas FCD 0-9% masih dominan namun luasnya jauh berkurang dibandingkan pada tahun 1991. Hal tersebut terjadi karena pertumbuhan tegakan hutan pada rentang sebelas tahun hingga tahun 2002.

Tabel 3-1 Kelas FCD tahun 1991, 2002, dan 2012

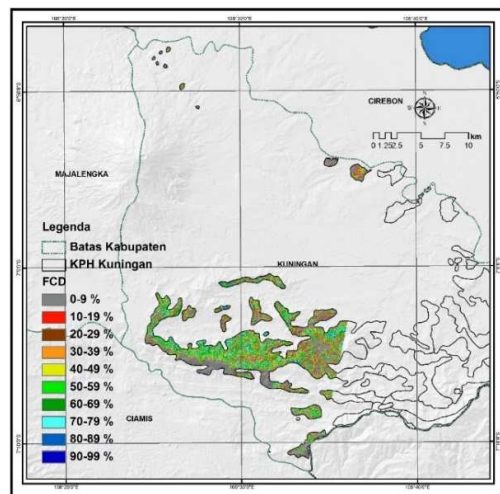
| Kelas FCD (%) | Jml. Plot | Luas (ha) | | |
|---------------|-----------|------------|------------|------------|
| | | Tahun 1991 | Tahun 2002 | Tahun 2012 |
| 0-9 | 20 | 9404.40 | 4806.05 | 2981.41 |
| 10-19 | 4 | 86.11 | 198.63 | 456.59 |
| 20-29 | 4 | 107.10 | 385.77 | 701.71 |
| 30-39 | 5 | 99.50 | 573.18 | 880.98 |
| 40-49 | 8 | 75.16 | 919.24 | 1120.40 |
| 50-59 | 8 | 46.48 | 1210.40 | 1353.04 |
| 60-69 | 7 | 24.59 | 1012.95 | 1280.23 |
| 70-79 | 5 | 12.50 | 578.06 | 806.99 |
| 80-89 | 1 | 5.15 | 161.91 | 257.69 |
| 90-99 | 1 | 0.25 | 17.10 | 24.24 |
| Jumlah | 63 | 9861.23 | 9863.28 | 9863.28 |



Gambar 3-1 Peta FCD tahun 1990



Gambar 3-2 Peta FCD tahun 2002



Gambar 3-3 Peta FCD tahun 2012

Kelas kerapatan 90-99% yang pada tahun 1991 luasnya kurang dari satu hektar, menjadi 17.10 ha pada tahun 2002. Kemudian data FCD tahun 2012 menunjukkan luasan daerah dengan kerapatan kanopi tinggi jauh lebih luas dari data FCD tahun 1991 dan tahun 2002. Kelas kerapatan 0-9% pada tahun 2012 menjadi hanya 3263.52 ha, sedangkan kelas kerapatan tertinggi mencapai 24.24 ha. Peningkatan kerapatan kanopi di tahun 2012 dari tahun-tahun sebelumnya selain karena pertumbuhan tegakan itu sendiri juga karena pengelolaan KPH Kuningan yang mampu menjaga kondisi hutannya baik.

Perubahan FCD

Hasil deteksi perubahan FCD tiap dua rentang waktu berbeda di KPH Kuningan secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Kelas perubahan FCD tahun 1991-2002 dan 2002-2012

| Kelas perubahan | Tahun 1991-2002 | | Tahun 2002-2012 | |
|-----------------|-----------------|--------|-----------------|--------|
| | Luas (ha) | % | Luas (ha) | % |
| <i>Decrease</i> | 206.69 | 2.04 | 1826.72 | 18.00 |
| <i>Unchange</i> | 3816.32 | 37.62 | 3389.15 | 33.40 |
| <i>Increase</i> | 4504.18 | 44.40 | 3311.82 | 32.64 |
| <i>Clouds</i> | 1617.94 | 15.95 | 1620.05 | 15.96 |
| Jumlah | 10145.13 | 100.00 | 10147.74 | 100.00 |

Data yang disajikan pada Tabel 3-2 menunjukkan peningkatan kerapatan kanopi menjadi kelas yang dominan daripada penurunan kerapatan kanopi. Pada rentang tahun 1991-2002 terjadi peningkatan kerapatan kanopi yang sangat signifikan, mencapai 44.4% dari total areanya dan hanya 2% daerahnya yang mengalami penurunan. Peningkatan signifikan tersebut masih berlanjut pada rentang waktu 2002-2012 yakni 32.64% walaupun terjadi penurunan yang lebih besar dari kurun waktu sebelumnya yakni 18%.

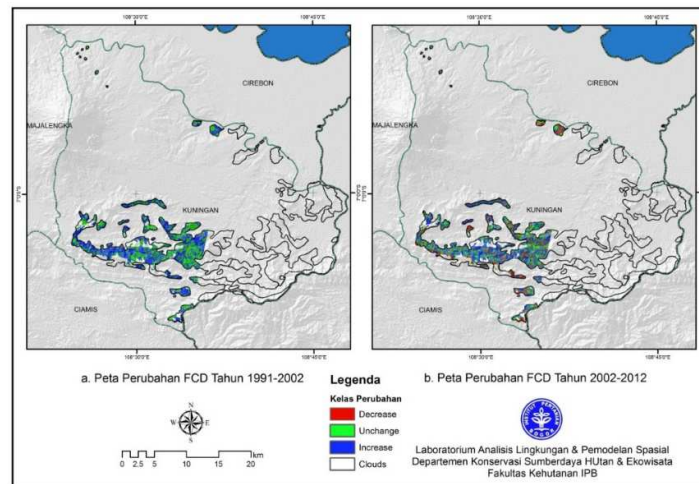
Pertambahan luas daerah *decrease* pada rentang tahun 2002-2012 daripada rentang tahun sebelumnya karena pada rentang tahun tersebut terjadi peningkatan jumlah penduduk sebesar 175044 jiwa, jauh lebih besar daripada peningkatan jumlah penduduk pada rentang tahun 1991-2002, yakni 105553 jiwa (Bapeda BPS Kuningan 2012). Dengan bertambahnya jumlah penduduk maka terjadi peningkatan kebutuhan lahan dan sumberdaya hutan sehingga banyak hutan yang dikonversi, selain itu jumlah penduduk yang besar meningkatkan potensi perambahan.

Kelas FCD yang mengalami perubahan paling besar dalam rentang tahun 1991-2002 adalah kelas FCD 0-9%. Perubahannya berupa penurunan luas sebesar 4598.35 ha dari luas pada tahun 1991. Penurunan luasan tersebut karena berubah menjadi kelas FCD lain dan 25% dari luasan yang hilang berubah menjadi kelas FCD 50-59% pada tahun 2002 seperti ditunjukkan Tabel 3.1. Penurunan kelas FCD 0-9% dikarenakan pertumbuhan tegakan tersebut menjadi kelas FCD lain dalam rentang tahun 1991-2002. Pada rentang tahun 2002-2012 kelas FCD yang mengalami perubahan terbesar terjadi pada kelas FCD 0-9%. Sebesar 1824.65 ha kelas FCD 0-9% pada tahun 2002 berubah menjadi kelas FCD lain

ditahun 2012 (Tabel 3.1). Kelas FCD 20-29%, 30-39%, 40-49%, dan 50-59% menjadi kelas FCD yang mengalami peningkatan signifikan. yakni masing-masing meningkat lebih dari 400 ha.

Banyak faktor yang dapat memengaruhi terjadinya perubahan FCD tersebut. Menurut Suyatman (1998) gangguan yang biasa terjadi di KPH Kuningan yang dapat berdampak negatif antara lain pencurian kayu, bibrikan lahan, kebakaran hutan, penggembalaan liar, dan bencana alam. Status hutan KPH Kuningan yang didominasi hutan produksi turut berpengaruh terhadap perubahan FCD.

Faktanya kondisi hutan KPH Kuningan terus mengalami peningkatan yang signifikan dalam dua dekade terakhir. Hal tersebut dapat terjadi karena pertumbuhan tegakan itu sendiri dalam kurun waktu tersebut, keberhasilan pengelolaannya serta kesadaran masyarakat yang tinggi terhadap kelestarian hutan. Keberhasilan tersebut dicapai berkat program-program seperti penyuluhan, pemberdayaan masyarakat desa hutan (PMDH), dan juga program pengelolaan hutan bersama masyarakat (PHBM), serta dukungan pemerintah Kabupaten Kuningan dengan kebijakan yang pro-konservasi seperti mendeklarasikan Kabupaten Kuningan menjadi Kabupaten Konservasi.

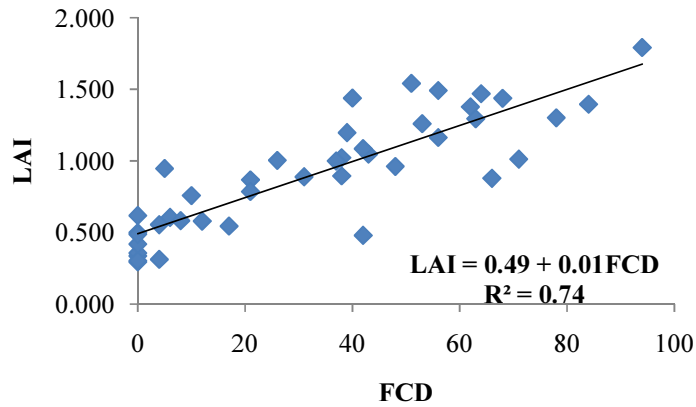


Gambar 3-4 Peta perubahan FCD

Analisis Model Pendugaan

Leaf Area Index (LAI)

LAI didefinisikan sebagai nisbah antara luas daun dengan luas lahan tegakan yang diproyeksikan tegak lurus terhadap penutupan tajuk (Nemani dan Running 1998). Nilai LAI bervariasi dari hari ke hari sebagai akibat dari variasi pola radiasi surya harian dan bervariasi dari musim ke musim sebagai akibat perubahan kanopi, area tumbuh, dan guguran daun (Hadipoentyanti *et al.* 1994). Terdapat dua kegunaan nilai LAI untuk kawasan hutan, pertama dapat digunakan untuk menduga pertukaran bahang pada tipe hutan tertentu, dan kedua menentukan hubungan antara karakteristik fisik lingkungan dengan arsitektur tajuk hutan. Model pendugaan $LAI = 0.49 + 0.01FCD$ dengan koefisien determinasi 0.74. Grafik hubungan antara nilai FCD dengan LAI ditunjukkan pada Gambar 3-5.

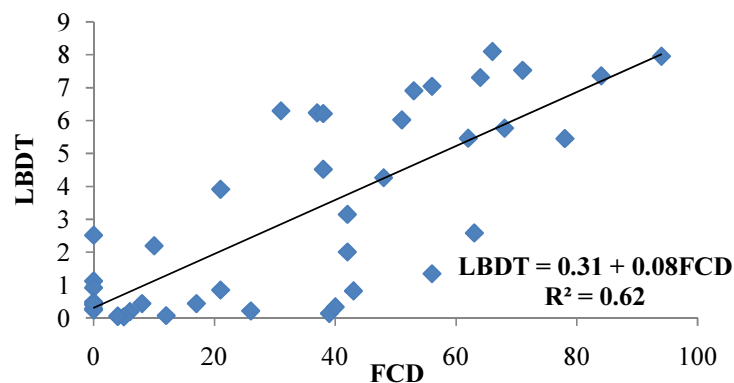


Gambar 3-5 Grafik hubungan antara LAI dengan FCD

Luas Bidang Dasar Tegakan (LBDT)

LBDT merupakan jumlah dari luas bidang dasar (basal area) pohon hidup yang ada pada suatu tegakan hutan. Djumhaer (2003) menggunakan citra landsat dengan pendekatan NDVI mampu menduga LBDT dengan $R^2 = 0.82$. Secara individu luas bidang dasar mempunyai hubungan dengan volume pohon, biomassa, ukuran tajuk. Demikian pula dengan LBDT akan mempunyai hubungan dengan volume tegakan, biomassa tegakan, dan kerapatan tegakan (Brack 1999 diacu Kurniawan 2004).

Model pendugaan $LBDT = 0.31 + 0.08FCD$ ($R^2 = 0.62$). FCD memiliki hubungan yang lemah untuk menduga LBDT dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.62, sehingga tidak dapat digunakan. Hasil serupa juga terjadi pada penelitian Baynes (2007). Grafik Hubungan nilai FCD dengan nilai LBDT ditunjukkan pada Gambar 3-6.

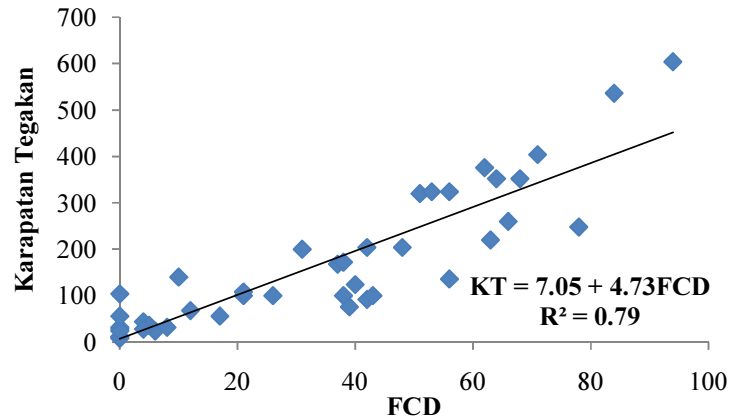


Gambar 3-6 Grafik hubungan antara LBDT dengan FCD

Kerapatan Tegakan (KT)

KT menunjukkan jumlah pohon yang ada dalam suatu luasan hutan (Mason 2000). Satuan KT adalah jumlah pohon per hektar. Pengukuran terhadap KT dapat digunakan untuk analisis pertumbuhan pohon dan hasil hutan. Menurut Young (1982) kerapatan tegakan adalah pernyataan kuantitatif yang

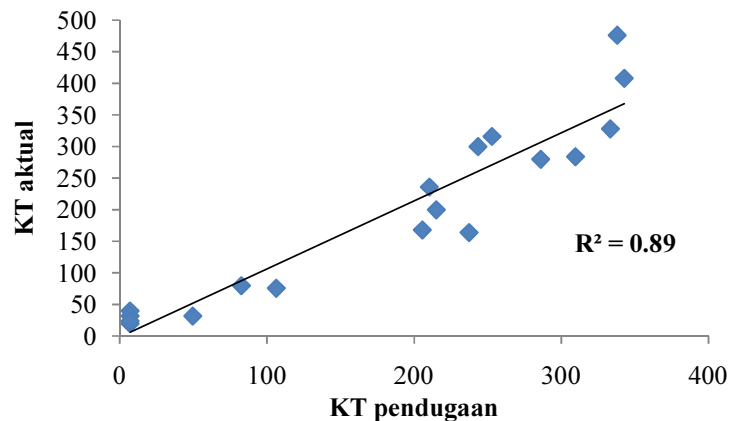
menunjukkan tingkat kepadatan pohon dalam suatu tegakan. Estimasi KT dapat dilakukan dengan menggunakan metode remote sensing (Wu dan Strahler 1994). Menurut Nugroho (2011) nilai FCD memiliki hubungan yang kuat dengan kerapatan tegakan. Hasil analisis regresi menghasilkan model pendugaan $KT = 7.05 + 4.73FCD$ ($R^2 = 0.79$). Grafik hubungan antara FCD dengan KT ditunjukkan pada Gambar 3-7.



Gambar 3-7 Grafik hubungan antara KT dengan FCD

Validasi Model Pendugaan

Model pendugaan KT dipilih untuk kemudian di validasi karena memiliki koefisien determinasi terbesar. Validasi model pendugaan KT dilakukan untuk mengetahui ketepatan dari model pendugaan tersebut. Perhitungan validasi model pendugaan menunjukkan persentase nilai ketepatan yakni 6.2%. Hal tersebut menunjukkan bahwa model pendugaan KT memiliki ketepatan yang tinggi. Hasil regresi KT aktual dengan KT hasil pendugaan juga menunjukkan hubungan yang kuat dengan koefisien determinasi mencapai 0.89 seperti ditunjukkan pada Gambar 3-7.



Gambar 3-7 Grafik hubungan antara KT aktual dengan KT hasil pendugaan

Implikasi Model

Peubah KT menjadi peubah degradasi hutan di lapangan yang memiliki hubungan kuat dengan nilai FCD. Model pendugaan KT dan peta FCD dapat digunakan untuk menduga kerapatan tegakan di lapangan secara tidak langsung dengan baik. Hal tersebut dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan dan

monitoring hutan di KPH Kuningan. Model tersebut dapat memberikan informasi kondisi hutan, terutama kerapatan tegakan secara spasial dan temporal.

Model ini dapat dikembangkan lebih lanjut di hutan alam, dalam rangka implementasi MRV (*Monitoring, Reporting, Verification*) pada *project REDD+ (Reduction Emission from Deforestation & Forest Degradation)*. Kaitannya dengan konservasi sumberdaya hutan, model tersebut juga dapat dikembangkan untuk analisis kesesuaian habitat fauna dan flora. Dapat pula dikembangkan dalam upaya mitigasi bencana longsor, serta monitoring dalam upaya perlindungan DAS.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data FCD tahun 1991, 2002, dan 2012, analisis perubahan FCD di KPH Kuningan menunjukkan tren peningkatan kerapatan kanopi hutan. Peubah KT memiliki hubungan yang kuat dengan nilai FCD. Model pendugaan $KT = 7.05 + 4.73FCD$ dengan koefisien determinasi 0.79. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan klasifikasi FCD untuk daerah lain yang mengalami *striping* pada penelitian ini. Perlu digunakan indikator degradasi hutan lain seperti kerapatan tegakan mati, volume, biomassa dan karbon.

5. Ucapan Terima Kasih

Penghargaan yang tinggi penulis sampaikan kepada JSPS dan DIKTI. Sebagian dana penelitian ini dibiayai oleh The Grant Aid for Scientific Research (No. 21405005) dari the Japanese Society for the Propotion of Science (JSPS) dan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan (No.688/SP2H/PP/DP2M/X/2009).

6. Daftar Rujukan

- [Bapeda BPS] Badan Perencanaan Daerah Kab. Kuningan, Badan Pusat Statistik. (ID) 2012. *Kuningan Dalam Angka Tahun 2012*.
- Baynes J. 2007. *Using FCD Mapper Software and Landsat Images to Assess Forest Canopy Density in Landscapes in Asutralia and the Philippines*. *Annals of Tropical Research*. 29(1):9-20.
- Djumhaer M. 2003. *[skripsi] Pendugaan Leaf Area Index dan Luas Bidang Dasar Tegakan Menggunakan Landsat 7 ETM+ (studi kasus di Kabupaten Bungo Propinsi Jambi)*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Duan N, Li KC. 1991. *A bias bound for least squares linear regression*. *Statistica Sinica*. 127-136.
- Grainger A. 1993. *Rates of Deforestation in the Humid Tropics: Estimates and Measurements*. *The Geographical Journal*. 159(1): 33-44.
- Hadipoentyanti EM, EA Hadad, Hermanto. 1994. *Peran intensitas radiasi surya dan indeks luas daun terhadap produksi maksimal tanaman*. *Buletin PERHIMPI*. 2:49 –52.
- Huang D, Yang W, Tan B, Rautiainen M, Zhang P. 2006. *The Importance of Measurement Errors for Deriving Accurate Reference Leaf Area Index Maps for Validation of Moderate-Resolution Satellite LAI Products*. *J. IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing*. 44:1866-1871.

- Kurniawan A. 2004. [skripsi] *Penggunaan Teknologi Penginderaan Jauh dalam Pendugaan Luas Bidang Dasar Tegakan dan Kerapatan Tegakan*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Mason EG. 2000. *A Brief Review of the Impact of Stand Density on Variables Affecting Radiata Pine Stand Value*. www.fore.canterbury.ac.nz/cuan/spacing/density3.htm [3 Juni 2012].
- Mudiyarso D *et al.* 2008. *Measuring and monitoring forest degradation for REDD*. CIFOR Infobrief. No. 16.
- Nugroho S. 2011. [disertasi] *Metode Deteksi Degradasi Hutan Menggunakan Citra Satelit Landsat di Hutan Lahan Kering TNGHS*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Prasetyo LB, Tsuyuki S, Baba A. 2003. *Application of Landsat/TM and Multitemporal JERS-1 SAR images for Paddy Field Area Identification: A Case Study at Cidanau Watershed*. *Journal Of GIS, Remote Sensing and Dynamic Modelling*. 3:66-76.
- Rikimaru A, Roy PS, Miyatake S. 2002. *Tropical Forest Cover Density Mapping*. *Tropical Ecology*. 43(1): 39-47.
- Running SW, Nemani RR, Peterson DL, Band LE, Potts DE. 1989. *Mapping Regional Forest Evapotranspiration and Photosynthesis by Coupling Satellite Data with Ecosystem Simulation*. *Ecology*. 70: 1090-1101.
- Sprintsin M, Karnieli A, Sprintsin S, Cohen S, Berliner P. 2009. *Relationships between stand density and canopy structure in a dryland forest as estimated by ground-based measurements and multi-spectral spaceborne images*. *Journal of Arid Enviroments*. 73:955-962.
- Wu Y, Strahler HA. 1994. *Remote Estimation of Crown Size, Stand Density, and Biomass on the Oregon Transect*. *Ecological Applications*. 4:299-312.
- Young RA. 1982. *Introduction to Forest Science (Second Edition)*. New York (US): John Wiley & Sons.