

ANALISIS MODEL EKSTRAKSI CITRA SATELIT UNTUK PREDIKSI TANAMAN PADI DENGAN PENDEKATAN MODEL STATISTIK DAN KECERDASAN BUATAN

Chairuddin

Teknik Informatika, STMIK Indonesia Mandiri, Bandung, Indonesia
ch.ruddin@gmail.com

Abstrak—Keunggulan teknologi indera dalam melakukan estimasi melalui objek data citra dengan wahana satelit menjadi salah satu alternatif para pengambil keputusan dalam rangka mendukung dan memperoleh informasi serta solusi terbaik dalam menentukan langkah yang harus diambil untuk menentukan suatu keputusan yang handal. Data citra dapat dimanipulasi dengan serangkaian metode sehingga dapat menghasilkan sebuah informasi yang dibutuhkan terutama dalam melakukan ekstraksi sehingga dapat memprediksi dan mengestimasi objek yang terkandung didalamnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi dan memprediksi lahan sawah untuk menentukan hasil panen di Indonesia. Estimasi lahan sawah dilakukan dengan teknologi citra satelit multitemporal. Proses ekstraksi citra dilakukan dengan mensintesis beberapa model *Artificial Intelligence*, yaitu Jaringan Syaraf Tiruan (*Neural Network*) dan Logika Samar (*Fuzzy Logic*). Model *Artificial Intelligence* tersebut digunakan untuk melakukan estimasi dan memprediksi lahan sawah yang tersedia dengan keanekaragaman tanaman pangan untuk mengetahui sebaran panen tanaman pangan yang diharapkan akan menjadi sebuah solusi bagi pengambil keputusan dalam rangka penyebaran dan pemerataan pangan di Indonesia. Salah satu solusi yang dapat dipertimbangkan oleh para penentu kebijakan adalah bagaimana memantau proses produksi pertanian agar kuantitas dan kualitas hasil panen dapat dimaksimalkan

Keywords— *Artificial Intelligence*, *Neural Network*, *Fuzzy Logic*

I. PENDAHULUAN

Pangan merupakan hal yang sangat pokok dalam kehidupan, tercukupinya pangan menjadi unsur terpenting bagi keberlangsungan kehidupan di bumi, terutama dalam aspek kehidupan manusia. Pangan menjadi isu penting dan banyak menjadi bahan perbincangan di konferensi-konferensi Internasional, Salah satunya isu pangan internasional yang menjadi topik pembicaraan pada pertemuan G-20 di Cannes, Prancis, Presiden Bank Dunia, Zoellick (2011) mengatakan bahwa "Krisis pangan masih jauh dari penyelesaian,".

Diperlukan berbagai pemikiran yang sistematis dan berkesinambungan dalam upaya mencari solusi yang terbaik agar proses pengelolaan pertanian dapat mencapai hasil yang optimal, sesuai dengan tujuan nasional pembangunan untuk ketahanan pangan yaitu terpenuhinya pangan bagi setiap rumah tangga yang tercermin dari tersedianya pangan yang

cukup, baik jumlah maupun mutunya, aman, merata dan terjangkau (UU No.7 1996). Salah satu solusi yang dapat dipertimbangkan oleh para penentu kebijakan adalah bagaimana memantau proses produksi pertanian agar kuantitas dan kualitas hasil panen dapat dimaksimalkan.

Menjawab tantangan masa depan, pengelolaan pertanian yang baik menjadi suatu keharusan, untuk itu diperlukan proses monitoring produktivitas tanaman pangan agar dapat dilakukan pemantauan tumbuh kembang tanaman dari tiap fase yaitu awal penyemaian sampai panen, sehingga dari hasil monitoring tersebut dapat menjadi masukan dalam memprediksi ketersediaan pangan nasional.

Konsep alih teknologi yaitu penginderaan jauh dapat menjadi salah satu alternatif yang tepat dalam proses monitoring produktivitas tanaman pangan secara cepat, teknologi ini dapat memberikan Gambaran objek yang sesuai dengan objek dunia nyata melalui informasi Gambar atau foto yang diambil melalui wahana satelit.

Fokus penelitian lebih menitik beratkan pada Estimasi Lahan Sawah di Indonesia, dengan Ekstraksi Citra Satelit Multitemporal berbasis *Artificial Intelligence* yaitu *Neural Network* (NN), dan *Fuzzy Logic*, serta model statistik yaitu *Maximum Likelihood*. Hasil yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah, membandingkan kinerja dari ketiga model *Artificial Intelligence* yaitu *Neural Network* dan *Fuzzy Logic* serta model statistik *Maximum Likelihood* dalam melakukan proses klasifikasi citra satelit dalam rangka meng-estimasi lahan sawah dengan data citra Landsat.

II. METODOLOGI PENELITIAN

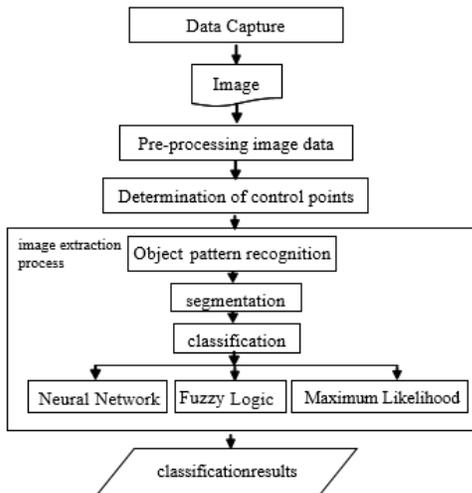
Penelitian yang dilakukan adalah mengembangkan konsep Teknologi Informasi dengan memanfaatkan Teknologi Citra Satelit Multitemporal untuk menghasilkan informasi mengenai keadaan sebaran lahan sawah di Indonesia dengan pengambilan sampel pengolahan citra di daerah Jawa Barat yaitu area Rancaekek dengan menggunakan citra satelit Landsat.

A. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tahapan penelitian dilakukan dari tahap pengadaan data citra satelit

sampai penentuan proses estimasi lahan sawah yang ditumbuhi tanaman padi pada tahap genetatif.

Realisasi penelitian yang telah dilakukan adalah sampai proses pembentukan hasil klasifikasi dari setiap model *artificial intelligence* yaitu pembentukan klasifikasi lahan sawah dengan menggunakan model *Neural Network* dan *fuzzy Logic*, serta perbandingan dengan model statistik yaitu *Maximum Likelihood*. Realisasi penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Tahapan penelitian

B. Penelitian Awal

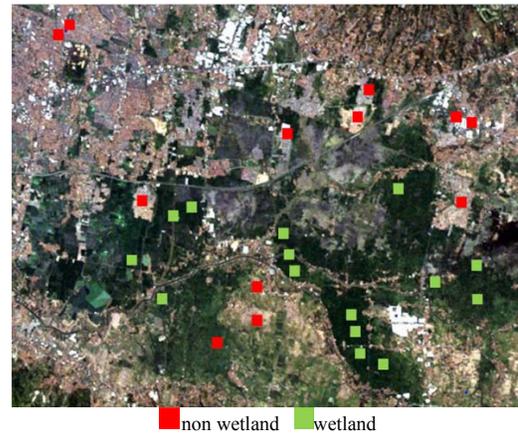
Penelitian awal yang dilakukan adalah menentukan wilayah penelitian yang digunakan sebagai *pilot project* pengambilan sampel objek untuk penelitian adalah daerah lahan sawah Rancaekek Bandung Jawa Barat Indonesia seperti terlihat dalam Gambar 2. Area objek yang digunakan sebagai sampel training data diambil berdasarkan hasil survey .

Visualisasi dan sampel titik control yang ditentukan pada wilayah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3. dengan diperoleh titik control pada wilayah penelitian akan menambah pembendaharaan data training area untuk melakukan proses klasifikasi untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

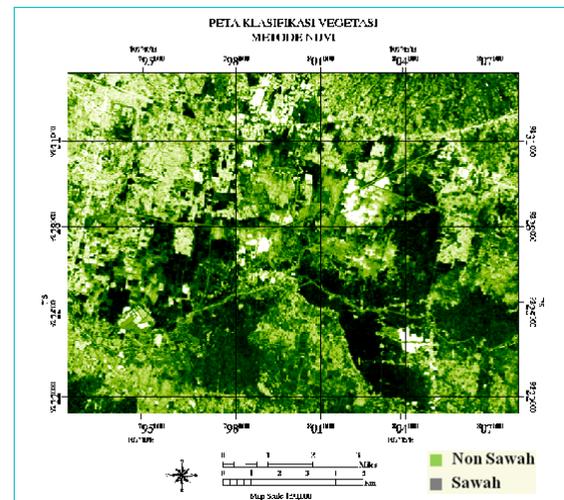


Gambar 2 Area objek lahan sawah yang digunakan dalam penelitian

Proses selanjutnya yang dilakukan pada citra wilayah Rancaekek yaitu proses ekstraksi dengan metode *Normalized Difference Vegetation Index*(NDVI). NDVI digunakan untuk mempertegas objek sawah dalam citra yang digunakan untuk proses analisis dengan menggunakan model *Artificial intelligence*. Hasil ekstraksi NDVI dilakukan dengan menggunakan aplikasi pengolahan citra yaitu ENVI yang hasilnya ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 3 Sampel titik control di wilayah penelitian



Gambar 4 Ekstraksi Indeks Vegetasi (NDVI)

Proses ekstraksi NDVI bertujuan untuk mendapatkan indeks nilai spektral sawah yang sangat berguna untuk proses selanjutnya yaitu klasifikasi.

C. Analisis Model

Dasar pemikiran menggunakan pendekatan ketiga model AI dalam pembuatan model ekstraksi data citra adalah didasarkan pada keandalan proses pengolahan data citra yang dapat menciptakan suatu pola pengetahuan melalui pengaturan diri atau kemampuan belajar (*self organizing*).

TABEL I.
KEKUATAN DAN KELEMAHAN MODEL

Klasifikasi statistik parametric (<i>maximum likelihood</i>)	Kendala dari metode klasifikasi statistik parametrik seperti <i>maximum likelihood</i> untuk citra banyak <i>band</i> adalah kesulitan dalam menentukan tingkat akurasi informasi yang dihasilkan serta dalam menentukan ketidakpastian(<i>uncertainty</i>) objek dalam citra, dan hasilnya kurang memuaskan.	Congalton dan Green (1999); Atkinson dan Foody (2002); Sari (2010); T. Blaschke (2010)
Artificial Intelligence	<p>Jaringan Syaraf Tiruan: <i>Keunggulan :</i> Mampu melakukan generalisasi dan ekstraksi dari suatu pola Dapat menciptakan suatu pola pengetahuan melalui pengaturan diri atau kemampuan belajar(<i>self organizing</i>)</p> <p><i>Kelemahan :</i> Kurang mampu melakukan operasi numerik dgn presisi tinggi Kurang mampu melakukan operasi algoritma aritmatika, operasi Logika dan simbolis Proses training yang lama bila jumlah data besar</p>	Liu dkk.(2004); Yang, Prasher (2000); Stathakis dan Landry (2008); Martin (2009); Somantri (2011)
	<p>Fuzzy Logic : <i>Keunggulan :</i> Mendukung Model Algoritma Genetika dalam hal melakukan optimasi operasi matematika, logika dan simbolis Mendukung Model jaringan syaraf tiruan dalam hal pengenalan pola.</p> <p><i>Kelemahan:</i> Penentuan faktor input untuk proses training data harus beragam Penerapan aturan logika dalam menentukan suatu proses harus akurat.</p>	Widyastuti dan Hamzah (2007); Stathakis dan Kanellopoulos (2008)

Penggunaan model *Artificial Intelligence* untuk proses monitoring tanaman telah digunakan oleh beberapa peneliti yaitu penerapan algoritma cerdas seperti jaringan syaraf tiruan (JST), logika *fuzzy* yang dapat menjadi aplikasi kontrol yang efektif dalam membantu peningkatan produktivitas tanaman dengan pengolahan data citra pada penginderaan jauh [3]. Berikut adalah hasil studi literatur mengenai kekuatan dan kelemahan model artificial intelligence yang diungkapkan oleh beberapa peneliti seperti Tabel I.

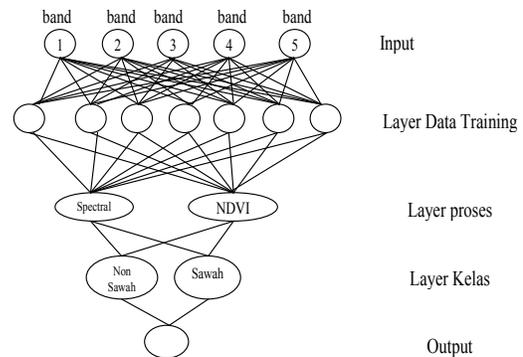
Berdasarkan hasil analisa dari beberapa peneliti memperlihatkan bahwa keunggulan AI dapat dimanfaatkan sebagai model yang akan digunakan dalam penelitian, ketiga model *Artificial Intelligence* yaitu Jaringan syaraf tiruan (JST), logika *fuzzy logic* dapat dilakukan dengan menentukan fungsi control yang baik dari setiap model untuk diterapkan pada proses ekstraksi citra.

III. HASIL PEMBAHASAN

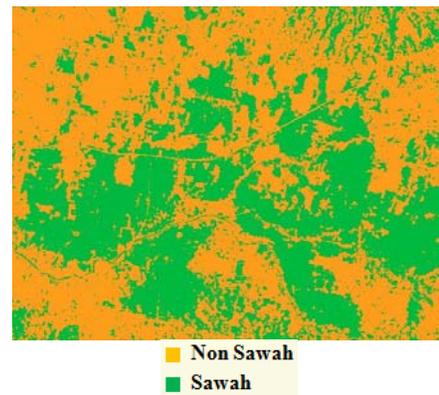
Penelitian ini di difokuskan pada aspek pengembangan teknologi inderaja yaitu dengan melakukan “Estimasi Lahan Sawah di Indonesia dengan Ekstraksi Citra Satelit Multitemporal berbasis model *Neural Network*(NN) dan *Fuzzy Logic*”. Pada pembahasan ini di perlihatkan proses klasifikasi dari hasil perbandingan model Artificial Intelligence yaitu *Neural Network* dan *Fuzzy Logic* serta model statistik yaitu *Maximum Likelihood*.

A. Implementasi Model Neural Network

Metode *neural network* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Back Propagation Neural network*. Komponen-komponen *neural network* terdiri dari hidden node, learning rate, momentum, *minimum error* dan *iteration*. Struktur *neural network* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5. Citra hasil klasifikasi yang diproses dengan menggunakan model *Neural Network* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5 Struktur Neural Network (*Back Propagation Neural Network*) yang digunakan dalam penelitian.



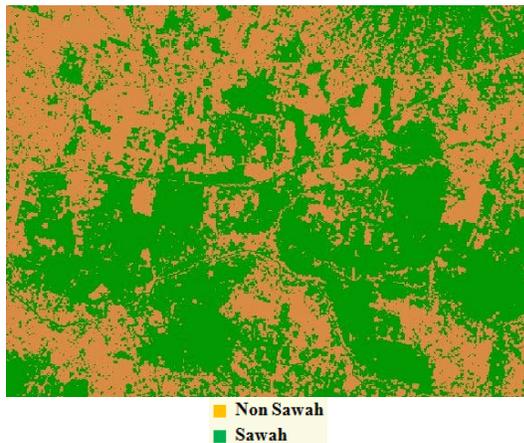
Gambar 6 Hasil Klasifikasi dengan model *Neural Network*

B. Fuzzy Logic

Algoritma klasifikasi citra menggunakan model logika samar(*fuzzy logic*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Melakukan koreksi *geometric* dan koreksi *radiometric* yang digunakan untuk memperbaiki kesalahan yang terjadi pada saat perekaman data.
- Pembuatan sampel objek padi dan non padi yang bertujuan untuk mendapatkan training area terbaik
- Ekstraksi dan evaluasi data sampel sehingga diperoleh parameter statistic seperti rata-rata, variansi dan menghitung korelasi antara training area yang ada
- Modifikasi data training, bila terdapat dua atau lebih sampel yang memiliki tingkat kolerasi cukup tinggi
- Model klasifikasi yang digunakan kemiripan maksimum dengan pendekatan logika samar
- Uji Klasifikasi data training untuk mengetahui tingkat ketelitian klasifikasi sampel area. Informasi yang dihasilkan berupa matrik korelasi yang menggambarkan kontribusi *pixel* dari setiap training area untuk mendapatkan kelas yang diharapkan
- Klasifikasi citra bila hasil evaluasi data sampel area menunjukkan tingkat ketelitian yang memadai

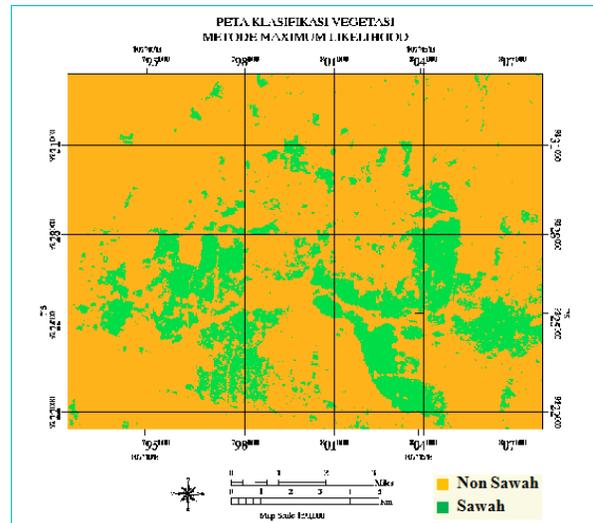
Citra hasil klasifikasi yang diproses dengan menggunakan model *fuzzy logic* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Hasil Klasifikasi dengan model *Fuzzy Logic*

Model *Maximum Likelihood* adalah model yang sering digunakan dalam ekstraksi citra satelit, pendekatan model ini menggunakan metode statistik parametrik, identifikasi yang dilakukan oleh metode ini adalah mencari kedekatan dari nilai objek yang maksimum untuk dijadikan acuan dalam menentukan area suatu objek.

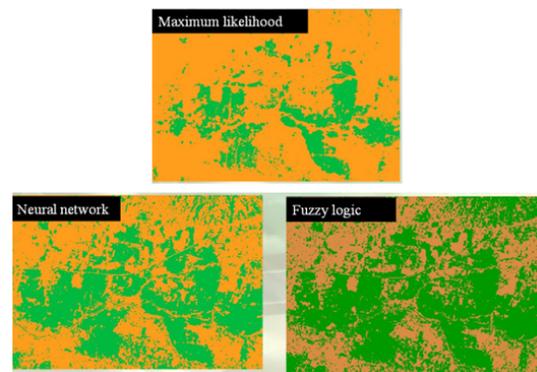
Penggunaan model *Maximum Likelihood* dalam penelitian ini adalah sebagai bahan perbandingan proses antara model statistik dengan model Artificial Intelligence. Hasil ekstraksi citra dengan menggunakan model *Maximum Likelihood* disajikan dalam Gambar 8.



Gambar 8 Ekstraksi dengan model *Maximum Likelihood*

C. Perbandingan Antar Model

Output yang dihasilkan dari penelitian ini berupa hasil klasifikasi citra satelit mengenai sebaran sawah pada daerah penelitian dari setiap model yang dikembangkan. Berdasarkan output yang dihasilkan dapat dilakukan perbandingan hasil klasifikasi seperti Gambar 9.



Gambar 9 Perbandingan hasil klasifikasi dari tiap model

Gambaran perbandingan hasil klasifikasi yang dilakukan dalam penelitian tahap pertama ini ditambah dengan model Statistik yaitu *Maximum likelihood*, hal ini dilakukan untuk memperlihatkan akurasi dari pendekatan statistic dan pendekatan pengenalan pola dalam hal ini pendekatan *Artificial Intelligence*. Berdasarkan hasil uji akurasi untuk keempat model tersebut dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL II.
HASIL UJI AKURASI MODEL PADA TAHAP PERTAMA

Model	Overall Accuracy(%)	Kappa coefficient
Maximum Likelihood	84.6457	0.6982
Neural Network	98.7861	0.9756
Fuzzy Logic	75.4265	0.5231

Hasil yang didapat dari perhitungan akurasi objek tersebut terlihat bahwa hasil uji fuzzy logic lebih rendah dari hasil Maximum Likelihood, hal ini dikarenakan pada uji akurasi fuzzy logic menggunakan ambang batas 0,5.

Nilai ambang batas tersebut diambil dan disetarakan untuk melihat hasil perbandingan antar model, ternyata pada model fuzzy logic penentuan ambang batas tidak dapat langsung ditentukan nilainya, karena ambang batas pada fuzzy logic lebih variatif yaitu antar 0,1 sampai 1,0 bukan 0 dan 1, hal ini dapat disimpulkan bahwa bila penentuan nilai ambang batas akan berbeda pada setiap model, misalkan penggunaan nilai ambang 0,5 dapat digunakan pada model neural network, dan maximum likelihood, sedangkan pada model fuzzy nilai 0,5 dianggap nilai ambang yang maksimal yaitu 1.

Berdasarkan hasil uji akurasi dan hasil analisis diatas, maka model fuzzy logic dapat dimaksimalkan proses pengolahan datanya bila parameter-parameter nilai yang diolah oleh model fuzzy logic dapat distrukturkan terlebih dahulu dengan struktur algoritma yang baik berdasarkan aturan logika yang lebih teraran pada proses klasifikasinya. Perbandingan hasil klasifikasi citra untuk objek sebaran sawah yang dihasilkan dari setiap model dapat dilakukan estimasi bahwa model dengan menggunakan pendekatan Artificial Intelligence lebih unggul dalam memberikan hasil yang baik.

IV. KESIMPULAN

Setiap algoritma mempunyai pendekatan atau cara tersendiri untuk mengklasifikasi lahan sawah dan non sawah, dan pada umumnya sangat tergantung dari karakteristik tutupan lahan (*land cover*) serta tata guna lahannya (*land use*). Hasil perbandingan menunjukkan bahwa model algoritma dengan menggunakan pendekatan *Artificial Intelligence* (AI) lebih akurat dibandingkan dengan metode statistik. Hal ini ditunjukkan dengan hasil akurasi klasifikasi sawah dengan metode AI lebih tinggi dibandingkan akurasi dengan salah satu metode berbasis statistik (*maximum likelihood*). Setiap model mempunyai kelebihan dan kekurangan dalam hal pengelolaan dan pengenalan pola, hal ini akan berdampak pada akurasi klasifikasi sawah yang dihasilkan. Untuk itu perlu pengujian terhadap model klasifikasi dari AI dan kombinasi antara *Neural Network* dan *Fuzzy Logic* untuk mendapatkan model yang paling baik melalui penelitian yang lebih mendalam. Pendekatan klasifikasi berbasis AI ini dapat mempercepat proses identifikasi lahan baku sawah yang ada di Indonesia. Dengan informasi lahan baku sawah yang lebih akurat maka pemerintah akan dapat mengambil suatu keputusan atau kebijakan yang terkait dengan pangan, dimana hal ini sangat erat hubungannya dengan ketahanan pangan nasional. Hasil uji akurasi pada penelitian tahap pertama dari beberapa model menunjukkan bahwa, tingkat akurasi dari model Maksimum Likelihood 84.6457 dengan nilai $\kappa=0.6982$, model Neural Network 98.7861, nilai $\kappa=0.9756$ dan model Fuzzy Logic 75.4265, nilai $\kappa=0.5231$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Apriyanti,N.(2011). Optimasi Jaringan Syaraf Tiruan Dengan Algoritma Genetika Untuk Peramalan Curah Hujan, Bogor Agricultural University
- [2] Atkinson, P.M., Lewis,P. (2000) :Geostatistical classification for remote sensing: an introduction,Comput. Geosci,26, 361–371.
- [3] Bandyopadhyay, S.K., Sanyal,P, (2011), Application of Intelligent Techniques towards Improvement of Crop Productivity, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST).
- [4] Bedard, Y.(1987), Uncertainties in Digital Image Processing. Proceeding Auto Carto VIHK p.175.
- [5] Belanche,L., Nebot, A., (2002), Intelligent Data Analysis and Data Mining, Wright State University.
- [6] Blaschke, T, (2010), Object based image analysis for remote sensing, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 65 (2010) 2_16
- [7] Congalton, R.G.,Green.K. (1999) : Assessing The Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices 2nd Ed. CRC Press, Taylor and Francis Group New York.
- [8] Foody, G.M., (2002): Status of land-cover classification accuracy assessment, Remote Sens. Environ., 80, 185–201,
- [9] Gen, M., Cheng, R. (2000). Genetic Algorithms and Engineering Optimization, John Willey andSons, Inc., Canada.
- [10] Goldberg, D. (1989). Genetic Algorithms in Search,Optimization and Machine Learning, Addison –Wesley, Reading, MA.
- [11] Gonzalez, R. C. dan Woods, R. E. (1992). Digital Image Processing, Addison – Wesley, PublishingCompany, Inc
- [12] Guo, Z.,Uhrig,R.E. (1992). Using genetic algorithms to select inputs for neural networks. COGANN-92: International Workshop on Combinations of Genetic Algorithms and Neural Networks, Baltimore, MD: 223-234.
- [13] Haboudane, D., Miller, J.R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P.J., Starchan, I.B. (2004), “Hyperspectral Vegetation Indices dan Novel Algorithms for Predicting Green LAI of Crop Canopies: Modeling and Validation in theContext of Precision Agriculture”, Remote Sensing of Environment, Vol. 90, hal. 337-352.
- [14] Haiou,G., Xu,S., Feng, T. (2010), Image Segmentation Model Of Plant Lesion Based On Genetic Algorithm And Fuzzy Neural Network, School of Computer & Information Technology,Northeast Petroleum University,Daqing,China
- [15] Haluska, H.,Swain, P. H. (1975) : The Decision Tree Classifier: Design and Potential, IEEE Catalog, 75CH1009-0-C
- [16] Jain, A., McClendon,R.W., Hoogenboom,G. (2006). Freeze prediction for specific locations using artificial neural networks. Transactions of the ASABE 49(6):1955-1962.
- [17] Joakim,L. (2011),. Pixel coverage models, segmentation, and feature extraction, Centre for Image AnalysisUppsala, Sweden.
- [18] Kamalesh, V.L., Luckman, A., Grey, W.M.F., dan Milton, E.J., (2008), “Estimation of leaf area index from PROBA/CHRIS hyperspectral, multi angular data”, Proceedings of the Remote Sensing and Photogrammetry Society Conference: Measuring change in the earth system, 15-17 September 2008, University of Exeter.
- [19] Lee, S.C., Lee,E.T. (1975). Fuzzy neural networks, MathematicalBiosciences, 23:151–177.
- [20] Liu,Z.,Wang,C.,Liu,A.,Niu,Z.(2004).Evolving Neural Network Using Real Coded Genetic Algorithm(GA) for Multispectral Image Classification. LARSIS,Beijing, China
- [21] Mahinda, P., Pathegama., Özdemir, G. (2005).Edge-end Pixel Extraction for Edge-based Image Segmentation, World Academy of Science, Engineering and Technology 2 2005
- [22] Martin, C., Maxwell,(2009). Crop Yield Prediction Using Artificial Neural Networks And Genetic Algorithms, B.A., The University of Georgia, Athens, Georgia.
- [23] Martono, D. N (2008), Aplikasi Teknologi Penginderaan Jauh dan Uji Validasinya Untuk Deteksi Penyebaran Lahan Sawah Dan Penggunaan/Penutupan Lahan, SNATI Yogyakarta.

- [24] Simatupang, P., Timmer, C.P. (2008), "Indonesian Rice Production: Policies and Realities", *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 44(1): 65-79.
- [25] Siswomartono, H., Habibie, A. (2004). "Kebijakan Alokasi Penggunaan Sumber Daya Lahan Secara Berkeadilan Dalam Reformasi Pembangunan Pertanian", Departemen Pertanian RI
- [26] Smith, B. A., Hoogenboom, G., McClendon, R.W. (2009). Artificial neural networks for automated year-round temperature prediction. *Computers and Electronics in Agriculture* 68(1): 52-61.
- [27] Stathakis, D., Kanellopoulos, I. (2008), Global Elevation Ancillary Data for Land-use Classification Using Granular Neural Networks, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 74, No. 1, January 2008, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
- [28] Sutoyo, T., Mulyanto, E., Suhartono, V., Nurhayati, O. D. dan Wijanarto, M. T. (2009) : *Teori Pengolahan Citra Digital*: Andi Offset: Yogyakarta
- [29] Tambunan, T. (2008). *Ketahanan Pangan Di Indonesia Inti Permasalahan Dan Alternatif Solusinya*, Kongres ISEI, Mataram
- [30] Widyastuti, N., Hamzah, A. (2007), Penggunaan Algoritma Genetika Dalam Peningkatan Kinerja Fuzzy Clustering Untuk Pengenalan Pola, *Berkala MIPA*, 17(2), Mei 2007, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.
- [31] Yang, M.D. (2007). A genetic algorithm (GA) based automated classifier for remote sensing imagery, *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol 33, No.3, pp.203-213, 2007.
- [32] Yuriy, C. (2008). *Genetic Algorithm in Artificial Neural Network Classification Problems*, Codeproject, Russian Federation.
- [33] Zadeh, L.A., (1999). From computing with numbers to computing with words – From manipulation of measurements to manipulation of perceptions, *IEEE Transactions on Circuits and Systems – I*, 45(1):105–119.