

**“Akselerasi Hasil Penelitian dan Optimalisasi Tata Ruang Agraria untuk Mewujudkan Pertanian Berkelanjutan”**

---

Keragaan Tanaman Padi Sawah pada Dua Fase Pertumbuhan Berdasarkan Nilai Klorofil Daun dari Data Lapangan dan Interpretasi Foto Udara Drone Komersil

**Muhammad Amir Solihin dan Saedi Bawana**

*Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran*

Email: m.amir.solihin@unpad.ac.id

**Abstrak**

Keragaan tanaman padi sawah pada berbagai fase pertumbuhan dapat dipantau secara langsung di lapangan maupun melalui analisis penginderaan jauh resolusi tinggi. Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi keragaan tanaman padi sawah pada dua fase pertumbuhan tanaman melalui interpretasi foto udara resolusi tinggi. Keragaan tanaman padi sawah diukur melalui nilai klorofil daun dengan menggunakan klorofil meter dan Indeks vegetasi NGRDI dan GLI. tingkat signifikan hubungan nilai klorofil melalui indeks vegetasi dan klorofilmeter diukur melalui analisis korelasi . Fase pertumbuhan Tanaman untuk pengukuran nilai klorofil dilakukan pada fase anakan aktif dan fase vegetatif maksimum. Pengambilan foto udara dengan menggunakan Drone dan lensa komersil RGB. Ketinggian terbang drone pada 100 m dpl. Pengambilan foto udara drone pada petak-petak percobaan padi sawah dengan perlakuan dosis pemupukkan yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan indeks vegetasi NGRDI dapat mengidentifikasi kandungan klorofil pada fase anakan aktif dan vegetative maksimum sangat signifikan sedangkan Indeks GLI hanya sangat signifikan pada fase vegetative maksimum. Hasil ini menunjukkan drone dengan lensa camera komersil dapat digunakan untuk mengidentifikasi kondisi tanaman padi sawah melalui nilai klorofil tanaman dengan baik, terutama dengan penggunaan indeks vegetasi yang tepat.

Kata kunci: foto udara, indeks vegetasi, klorofil, padi sawah

**Pendahuluan**

Keragaan pertumbuhan tanaman padi sawah yang baik dapat dilihat dari tingkat kehijauan daun tanaman. Tingkat kehijauan daun ini berkaitan dengan kandungan klorofil. Kandungan klorofil daun yang tinggi berkaitan dengan kecukupan unsur hara nitrogen dari tanah. Gejala kekurangan nitrogen dapat berakibat berkurangnya warna hijau dari daun (klorosis) dan umumnya terlihat terdistribusi merata pada keseluruhan daun (Turner dan

Jund, 1994). Pada tanaman serealia, kekurangan nitrogen ditandai oleh berkurangnya anakan; jumlah malai per satuan luas dan juga jumlah gabah per malai (Wong, 2005). Pemberian dosis pemupukan nitrogen yang berlebih dapat mengakibatkan pencucian sehingga unsur N terakumulasi yang menyebabkan kerusakan lingkungan dan penghambatan penyerapan  $K^+$  (Kong *et al.*, 2014). Selain itu, pemupukan nitrogen berlebih pada tanaman dapat meningkatkan kerentanan penyakit (Balini *et al.*, 2013). Perlu adanya keseimbangan nitrogen dalam tanah agar tanaman dapat tumbuh optimal.

Metode pengukuran N pada daun selama ini dilakukan secara konvensional diantaranya dengan menggunakan alat klorofil meter. Hal ini seperti yang dilakukan Monostori *et al.* (2016) yang mengukur jumlah nitrogen dalam tanaman dengan indikator zat klorofil pada tanaman gandum (*Triticum aestivum* L.). Hasil pengukuran tersebut memiliki nilai  $R^2$  berkisar pada 0,7-0,9 yang menunjukkan keeratan hubungan antara klorofil dengan nitrogen yang cukup kuat. Namun, pengukuran klorofil daun secara langsung memiliki beberapa kelemahan yaitu menyebabkan kerusakan pada tanaman, memerlukan waktu pengukuran yang lebih lama, dan kesulitan dalam pengukuran, terlebih jika dikaitkan dengan penerapan sistem pertanian presisi.

Pada pertanian presisi (*precision farming*), aplikasi teknologi geospasial digunakan untuk meningkatkan efisiensi input tanaman dengan menerapkan pupuk, irigasi atau pestisida sesuai kebutuhan dimana, kapan dan dengan jumlah input yang diperlukan (Auernhammer, 2001). Tujuan dari PF adalah mendukung keputusan aplikasi sumber daya dan kegiatan budidaya pertanian dengan kondisi lingkungan, tanah dan kebutuhan tanaman berdasarkan karakteristik spesifik lokasi di dalam lahan (Tsouvalis *et al.*, 2000). Salah satu pemanfaatan pertanian presisi adalah memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dalam manajemen nitrogen melalui pengukuran indeks vegetasi.

Campbell (2011) menjelaskan, *vegetation index* atau Indeks Vegetasi (IV) merupakan ukuran berdasarkan nilai-nilai kecerahan digital untuk mengukur kadar biomassa pada suatu vegetasi. Suatu nilai IV terbentuk dari kombinasi dari beberapa nilai spektral dengan menambahkan; dibagi; atau dikalikan dengan cara yang dirancang untuk menghasilkan nilai tunggal yang menunjukkan jumlah atau kekuatan vegetasi dalam piksel. Terdapat beberapa macam perhitungan IV yang dirancang untuk memberikan ukuran jumlah keseluruhan dan kualitas bahan fotosintesis di daun, yang penting untuk memahami keadaan vegetasi untuk tujuan apa pun.

Metode pengukuran nitrogen melalui indeks vegetasi diantaranya dengan menggunakan citra satelit seperti yang dilakukan oleh Croft *et al.* (2016) mengukur estimasi

jumlah nitrogen pada hutan Borden perbatasan Ontario Selatan (Kanada) dengan Great Lakes, St. Lawrence (Amerika Serikat) menggunakan Landsat-5 TM, Landsat-7 ETM dan Landsat-8 OLI. Penggunaan citra satelit juga dilakukan oleh Herdianta dan Kamal (2017) yang membandingkan estimasi jumlah nitrogen pada tanaman padi pada sebagian daerah di Kabupaten Sleman menggunakan indeks vegetasi dengan Citra Hyperion dan citra Landsat 8 OLI. Metode ini memiliki kemampuan dapat mengestimasi jumlah nitrogen dengan  $R^2$  yang bervariasi bergantung pada citra satelit dan tanaman dengan kalibrasi, namun penggunaan citra satelit memiliki beberapa kekurangan meliputi ukuran piksel yang besar, waktu kunjungan yang jarang, dan tertutupnya awan pada lahan pertanian yang diamati.

Berkembangnya teknologi penggunaan pesawat tanpa awak (UAV/*drone*) dipandang sebagai media potensial untuk penginderaan jauh di lahan pertanian karena waktu perolehan informasinya cepat dan fleksibel, serta informasi yang dihasilkan dapat lebih detail serta bervariasi dibanding data satelit. Manuver *drone* dengan terbang pada beberapa ketinggian berbeda menghasilkan data dengan kedetailan data yang berbeda dan mudah untuk disesuaikan. Ketersediaan drone dengan lensa kamera komersil yang ada, membuka peluang untuk dimanfaatkan dalam memantau kondisi tanaman.

Penggunaan citra satelit dan foto udara digunakan untuk pemantauan pertumbuhan tanaman, prediksi hasil dan pendugaan status N tanaman (Zheng et al., 2018). Hunt et al 2005 menggunakan kamera digital yang dilekatkan pada pesawat model untuk memperkirakan biomassa jagung dan nilai klorofil meter. Hunt *et al.*, (2005) menemukan korelasi linier antara biomassa dan normalized green– red difference index (NGRDI) yang berasal dari gambar RGB. Córcoles *et al.*, (2013) mengukur tutupan kanopi tanaman bawang dengan gambar RGB dari drone dan menentukan hubungan antara kanopi dan indeks luas daun. Namun, refleksi dalam panjang gelombang Near Infrared (NIR) paling bervariasi disepanjang musim tanam karena meningkatnya biomassa pada tingkat kanopi. Gitelson *et al.* (2002) menggunakan lensa RGB untuk menentukan Indeks vegetasi dengan mengoreksi pita warna biru dari atmosfer. Louhaichi *et al.* (2001) menggunakan lensa RGB dalam menentukan Indeks vegetasi dengan cara mengukur rasio nilai pita warna merah dan hijau terhadap pita warna biru.

Foto udara dengan menggunakan drone menawarkan banyak keuntungan dalam pertanian presisi seperti resolusi citra yang tinggi, biaya operasional yang relatif lebih murah dan akuisisi gambar yang cepat (Lelong et al. 2008). Pemanfaatan wahana drone sebagai media akuisisi citra foto udara sangat potensial mengoptimalkan penentuan nilai Vegetation Index suatu tanaman. Pemanfaatan keunggulan penginderaan objek di permukaan bumi

dengan drone diharapkan dapat diterapkan sebagai media penginderaan jarak jauh untuk mendukung pertanian presisi. Penerapan penginderaan jauh dengan menggunakan media drone diharapkan dapat mempermudah mengamati dan mempelajari kebutuhan nitrogen untuk tanaman padi (*Oryza sativa* L.) sebagai salah satu tanaman komoditas utama berdasarkan nilai indeks vegetasi dengan waktu pengamatan yang lebih cepat dan presisi.

## **Metode**

Penelitian dilakukan di kebun percobaan Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran di lokasi Ciparay, Kabupaten Bandung Jawa Barat (garis lintang  $7^{\circ} 1'24.19''S$  dan garis bujur  $107^{\circ}39'30.63''T$ ) Analisis tanah dan tanaman dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman, Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran. Waktu penelitian telah dilaksanakan pada bulan Juni hingga September 2018-2022.

Bahan dan alat yang akan digunakan adalah: (1) Drone dji phantom 4; (2) Lensa 4klens NDVI 7 (NIR, green, blue); (3) Chlorophyll meter (SPAD) CCM-200 plus ; (4) Peralatan studio seperangkat komputer; (5) Perangkat lunak Arcgis 10; (6) Perangkat lunak Agisoft untuk memodelkan foto yang ditangkap oleh drone sehingga dihasilkan mosaik orthofoto.

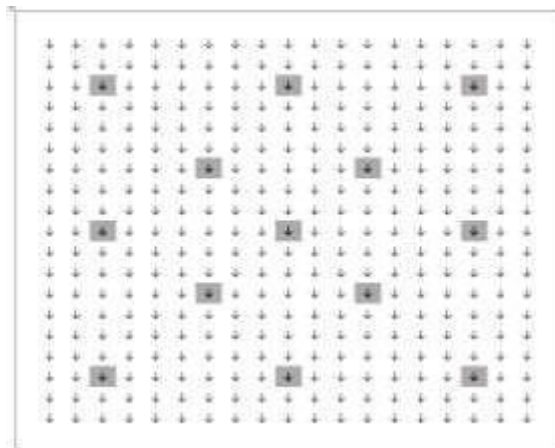
Studi ini merupakan penelitian survey dengan metode analisis secara deskriptif komparatif dan menggunakan objek pengamatan sebagai sumber sampel data berdasarkan dari desain penelitian pada tanaman padi sawah dengan perlakuan dosis pemupukkan pada taraf yang berbeda. Pemberian dosis pemupukan yang berbeda pada setiap plot yang diamati dilapangan dan melalui foto udara drone ditujukan untuk mendapatlan keragaman kondisi tanaman padi sawah. Hal ini memudahkan untuk melakukan pengukuran keragaan tanaman melalui alat klorofil meter dan foto udara drone.

Pemberian dosis pupuk yang berbeda memberikan keragaan warna daun dan klorofil yang berbeda (Uddling et al., 2007). Penanaman tanaman padi dengan berbagai macam dosis pupuk nitrogen dengan 7 perlakuan dan 4 ulangan. Pengukuran dengan menggunakan klorofil meter SPAD, dan pengambilan foto udara menggunakan Dji Phantom 4 dilakukan pada fase anakan aktif 43 HST, dan vegetatif akhir 58 HST. Foto udara dengan beberapa pada ketinggian 100 meter di atas permukaan laut dan dilakukan dengan lensa Dji Phantom 4 yang dapat menangkap cahaya tampak pada panjang gelombang 400 sampai 700 nm untuk pita Red, Green, Blue (RGB) Data hasil foto udara dianalisis untuk mendapatkan nilai Vegetation Index (VI) berdasarkan pita warna yang di tangkap.

Sebagai pembandingan, pengambilan sample nilai klorofil daun dilakukan dengan menggunakan klorofil meter SPAD CCM-200 yang bekerja pada panjang gelombang 653 sampai 931 nm. Nilai dari hasil pengukuran berbagai model Vegetation Index (VI) dibandingkan dengan nilai klorofil meter untuk menunjukkan keeratan hubungan antara data lapangan dengan hasil interpretasi foto udara melalui nilai indeks vegetasinya.

Pengambilan foto udara dilakukan ketika tanaman padi sawah berada pada anakan aktif 43 HST, dan vegetatif akhir 58 HST. Foto udara dengan menggunakan Dji Phantom 4 bersensor CMOS yang dihubungkan dengan aplikasi android Pix4Dcapture secara nirkabel. Penentuan jalur terbang dibuat berdasarkan area percobaan yang akan di foto dengan kerapatan sisi antar foto 80%. Gambar digital RGB disimpan dalam format Joint Photographic Experts Group (JPEG) dengan resolusi gambar 12.4 MP disesuaikan beda ketinggian nya (Tabel 3). Kamera diatur *exposure* secara manual untuk setiap penerbangan disesuaikan dengan kondisi cahaya.

Pengamatan dilakukan dengan memilih 13 sampel rumpun tanaman berdasarkan area lubang tanam agar terwakil secara keseluruhan pada tiap plot (Gambar 1). Pengambilan sampel pada rumpun dilakukan pada daun termuda yang telah terbuka sempurna dan sehat dari suatu tanaman untuk pengukuran warna daun (tidak terinfeksi penyakit maupun terdapat gejala defisiensi/ keracunan hara selain N) menggunakan klorofil meter (SPAD) dalam tiap plot. Pada tiap rumpun dipilih tiga daun untuk diukur dan selanjutnya dirata-ratakan hasilnya.



Gambar Titik pengambilan sample

Pengukuran indeks vegetasi dilakukan berdasarkan pada nilai Visible atmospherically resistant Index (VARI) (Gitelson et al. (2002) dan Green leaf index (GLI) (Louhaichi et al. 2001). Hubungan antara indek vegetassi dengan nilai klorofil meter diukur kekuatan

hubungannya melalui analisis korelasi. Korelasi dilambangkan dengan  $r$  dengan ketentuan nilai  $r$  tidak lebih dari kisaran  $(-1 \leq r \leq 1)$ . Apabila nilai  $r = -1$  artinya korelasi negatif sempurna;  $r = 0$  artinya tidak ada korelasi; dan  $r = 1$  artinya korelasinya sangat kuat. Pedoman interpretasi koefisien korelasi mengacu pada Sugiyono (2007). Persamaan penentuan indeks vegetasi masing-masing dapat dilihat berikut:\

$$VARI = \frac{R_{green} - R_{red}}{R_{green} + R_{red} - R_{blue}} \text{ Gitelson et al. (2002)}$$

$$GLI = \frac{(2 * green - red - blue)}{(2 * green + red + blue)} \text{ Louhaichi et al. (2001)}$$

## Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran lapangan dengan klorofil meter menunjukkan nilai klorofil meter pada fase anakan aktif dan vegetatif maksimum memperlihatkan adanya variasi nilai klorofil pada setiap perlakuan dosis pemupukan yang berbeda. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan nilai klorofil pada tanaman yang diberikan perlakuan sehingga sesuai dengan design yang direncanakan untuk pengamatan keragaan tanaman padi melalui pengukuran di lapangan dan akuisisi foto udara drone dengan lensa komersil RGB.

Hasil interpretasi foto udara drone melalui kamera komersil RGB direpresentasikan dalam bentuk indeks vegetasi VARI dan GLI. Hasil pengukuran indeks vegetasi dan klorofil meter menunjukkan adanya hubungan diantara indeks vegetasi dan nilai klorofil meter pada fase pertumbuhan anakan aktif maupun fase vegetative maksimum. Pada fase anakan aktif, terdapat hubungan signifikan nilai klorofil dan indeks vegetasi VARI pada taraf kepercayaan 95% dengan tingkat kekuatan hubungan sedang (0,4). Namun pada indeks vegetasi GLI tidak terdapat hubungan yang signifikan antara indeks vegetasi dan nilai klorofil dan kekuatan hubungannya rendah (0,34).

Pada fase vegetative maksimum, terdapat hubungan signifikan antara nilai klorofil dengan indeks vegetasi pada taraf kepercayaan 99%, baik pada indeks vegetasi VARI maupun GLI. Pada Indeks vegetasi GLI memiliki korelasi sedang (0,53) dan pada indeks vegetasi VARI memiliki korelasi kuat (0,75). Hubungan Indeks Vegetasi Dengan Nilai Klorofil Meter Tanaman Padi Pada Fase Anakan Aktif dan Vegetatif Maksimum.

Indeks Vegetasi

Ketinggian (100 m  
dpl)

Fase anakan aktif

Fas

e Vegetatif Maksimum

---

VARI	-0.40*	0.75**
GLI	-0.34	0.53**

\*\* . Signifikansi korelasi pada taraf kepercayaan 99%

\* . Signifikansi korelasi pada taraf kepercayaan 95%

### Diskusi

Hasil analisis penunjukkan bahwa terdapat hubungan nilai klorofil dari hasil pengukuran klorofil meter dengan indeks vegetasi hasil interpretasi foto udara pada setiap fase pertumbuhan tanaman padi sawah. Kekuatan hubungan hasil pengukuran di lapangan dan hasil interpretasi dilapangan tersebut tergantung pada penggunaan jenis spectrum dan algortimanya pada persamaan indeks vegetasi. Penggunaan spectrum utama yang dikoreksi untuk memperkuat nilai indeks agar lebih merepresntasikan kondisi sebenarnya dilapangan. Gitelson et al. (2002) menggunakan VARI karena memiliki sensitive minimal terhadap efek atmosferic yang memungkinkan menduga fraksi vegetasi dengan error kurang dari 10%. Ketebalan optic atmospher. Berbeda dengan indeks vegetasi GLI yang mengkoreksi pantulan utama vegetasi berupa spectrum tampak warna hijau oleh latar belakang pantulan tanah dan air berupa warna merah dan biru.

Perbedaan persamaan ini pada penelitian ini menghasilkan tingkat hubungan yang berbeda, terutama pada fase anakan aktif dimana kadar klorofil masih lebih kecil sehingga pantulan spektrum hijau daun lebih rendah dari pantulan tanah dan air. Nilai indeks vegetasi negatif terjadi karena refleksi pita hijau kurang dibandingkan refleksi pita merah dan biru. Refleksi pita hijau yang kurang dari pita merah-biru dikarenakan permukaan merah tanah yang dominan (Hunt *et al.*, 2005). Di awal musim tanam tutupan vegetasi dan indeks luas daun rendah sehingga menurunkan sensitivitas sebagian besar indeks vegetasi terhadap nilai klorofil meter (Hunt *et al.*, 2011). Permukaan tanah dan bayangan menjadikan piksel

campuran yang mempengaruhi nilai indeks vegetasi.

Nilai korelasi yang kuat dari indeks vegetasi VARI diduga karena adanya koreksi pita biru dalam rumus perhitungan indeks vegetasi hasil reformulasi dari indeks vegetasi NGRDI. Koreksi pita biru dilakukan karena panjang gelombang pita biru mudah terbaukan oleh atmosfer (Gitelson *et al.*, 2002). Signifikansi nilai GLI diduga karena indeks ini umumnya digunakan pada tanaman kanopi kecil dengan asumsi pita merah dan biru yang lebih besar dibandingkan pita hijau. Hal ini memperlihatkan spektrum hijau pantulan dari daun yang dikoreksi oleh pantulan spektrum merah dan biru dari tanah dan air pada lahan sawah.

Indeks vegetasi berubah seiring dengan perubahan nilai dari klorofil pada setiap fase pertumbuhan. Hal ini diduga disebabkan oleh berubahnya kadar klorofil pada tanaman dan ukuran kanopi tanaman. Nilai klorofil meter pada fase vegetatif akhir lebih tinggi dari pada fase anakan aktif. Hal ini diduga karena vegetatif akhir merupakan akumulasi nitrogen pada tanaman sebelum memasuki fase generatif. Kandungan klorofil pada tingkat yang tinggi seiring akumulasi nitrogen dalam tanaman menyebabkan pantulan hijau daun menjadi tinggi. Fase vegetatif akhir memiliki tutupan kanopi yang lebih besar karena tanaman sudah memasuki fase anakan maksimal (Moldenhauer dan Slaton, N, 2001).

## **Kesimpulan**

Nilai klorofil dari hasil pengukuran di lapangan dan hasil interpretasi foto udara drone menunjukkan adanya hubungan diantara keduanya. Interpretasi foto udara melalui indeks vegetasi VARI secara signifikan menunjukkan hubungan kuat dengan kondisi klorofil tanaman padi sawah pada fase anakan aktif maupun fase vegetative maksimum. Sedangkan Indeks vegetasi GLI hanya memiliki hubungan yang bersifat lemah dengan nilai klorofil tanaman padi sawah Pada fase vegetatif maksimum.

## **Daftar Pustaka**

- Aber, J. S., Aber, S. W., Buster, L., Jensen, W. E., Slezzer, R. O. 2009. Challenge of infrared kite aerial photography: A digital update. *Kansas Academy of Science Transactions*, 112, 31–39.
- Ali, M. M., Al-Ani, A., Eamus, D., Tan, D. K. 2017. Leaf nitrogen determination using non-destructive techniques—A review. *Journal of Plant Nutrition*, 40 (7), 928-953.
- Ashwini, R. 2017. A Study on Precision Agriculture and Its Technologies. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 3(1), 378-382.



- Auernhammer, H. 2001. Precision farming—the environmental challenge. *Computers and electronics in agriculture*, 30(1-3), 31-43.
- Ballini, E., Nguyen, T.T. and Morel, J.B., 2013. Diversity and genetics of nitrogen-induced susceptibility to the blast fungus in rice and wheat. *Rice*, 6(1), 32.
- Ballester, C., Hornbuckle, J., Brinkhoff, J., Smith, J. and Quayle, W., 2017. Assessment of In-Season Cotton Nitrogen Status and Lint Yield Prediction from Unmanned Aerial Sistem Imagery. *Remote Sensing*, 9(11), 1149.
- Basra, S.M., Iqbal, S. and Afzal, I., 2014. Evaluating the response of nitrogen application on growth, development and yield of quinoa genotypes. *International Journal of Agriculture & Biology*, 16(5), 886-892.
- Bianco, Matheus Saraiva, Arthur Bernardes Cecílio Filho, and Leonardo Bianco de Carvalho, 2015. Nutritional status of the cauliflower cultivar Verona grown with omission of out added macronutrients. *Plos One*, 10(4): e0123500.
- Bradley, D. M., Unnikrishnan, R., Bagnell, J. 2007. Vegetation detection for driving in complex environments. In *Robotics and Automation*, 503-508.
- Buresh, R.J. 2007. Fertile progress. *Rice Today*. July–Sept. 2007: 32–33.
- Campbell, J.B. and Wynne, R.H., 2011. *Introduction to remote sensing*. Guilford Press.
- Chen, P., D. Haboudane, N. Tremblay, J. Wang, P. Vigneault, and B. Li. 2010. New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat. *Remote Sens. Environ.* 114(1): 1987–1997.
- Córcoles, J.I., Ortega, J.F., Hernández, D., Moreno, M.A. 2013. Estimation of leaf area index in onion (*Allium cepa* L.) using an unmanned aerial vehicle. *Biosyst. Eng.* 115(1), 31–42.
- Croft, H., Chen, J. M., Luo, X., Bartlett, P., Chen, B., Staebler, R. M. 2017. Leaf chlorophyll content as a proxy for leaf photosynthetic capacity. *Global change biology*, 23(9), 3513-3524.
- Evans, J. R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C 3 plants. *Oecologia*, 78(1), 9-19.
- Gitelson, A.A., 2012. Nondestructive estimation of foliar pigment (chlorophylls, carotenoids and anthocyanins) contents: evaluating a semianalytical threeband model. In: Thenkabail, P.S., Lyon, J.G., Huete, A. (Eds.), *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*. CRC Press, Boca Raton, FL, 141–165.
- Gitelson, A.A., Gritz, Y., Merzlyak, M.N., 2003. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher.

- Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R., Rundquist, D., 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment* 80, 76–87.
- Gitelson, A.A., Merzlyak, M.N., 1994. Quantitative estimation of chlorophyll using reflectance spectra. *Journal of Photochemistry and Photobiology B* 22, 247–252.
- Herdianta, S. D., Kamal, M. 2017. Perbandingan Model Estimasi Kandungan Nitrogen Padi Menggunakan Citra Hiperspektral dan Multispektral Sebagian Wilayah Kabupaten Sleman. *Jurnal Bumi Indonesia*, 6(3).
- Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.*, 25(1), 295–309.
- Hunt, E. R., Cavigelli, M., Daughtry, C. S. T., McMurtrey, J. E., Walthall, C. L. 2005. Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*, 6(1), 359–378.
- Hunt, E. R., Hively, W. D., Daughtry, C. S., McCarty, G. W., Fujikawa, S. J., Ng, T. L., Tranchitella, M., Linden, D. S., Yoel, D. W. 2008. Remote sensing of crop leaf area index using unmanned airborne vehicles. In *ASPRS Pecora 17 Conference Proceeding*, Bethesda, MD: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. CDROM. Retrieved March 12, 2012 from <http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/pecora17/0018.pdf>.
- Hunt, E. R., Hively, W. D., Fujikawa, S. J., Linden, D. S., Daughtry, C. S. T., McCarty, G. W. 2010. Acquisition of NIR-green-blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring. *Remote Sensing*, 2, 290–305.
- Jamil, A., Abdulrachman, S. and Syam, M., 2015. Dinamika Anjuran Dosis Pemupukan N, P, dan K pada Padi Sawah. *Iptek Tanaman Pangan*, 9(2).
- Kasampalis, D. A., Alexandridis, T. K., Deva, C., Challinor, A., Moshou, D., & Zalidis, G. 2018. Contribution of remote sensing on crop models: a review. *Journal of Imaging*, 4(4), 52.
- Kong, L., Sun, M., Wang, F., Liu, J., Feng, B., Si, J., Zhang, B., Li, S., Li, H., 2014. Effects of high  $\text{NH}_4^+$  on  $\text{K}^+$  uptake, culm mechanical strength and grain filling in wheat. *Frontiers in plant science*, 5(1), 703.
- Kumar, S., Karaliya, S. K., Chaudhary, S. 2017. Precision farming technologies towards enhancing productivity and sustainability of rice-wheat cropping sistem. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 6(3), 142-151.
- LDP LLC. 2015. Enhanced Normalized Difference Vegetation Index (ENDVI). dalam <http://www.maxmax.com/endvi.htm> . Diakses pada 30 Mei 2018.
- Lelong, C. C. D., Burger, P., Jubelin, G., Roux, B., Labbe, S., Baret, F. 2008. Assessment

- of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots. *Sensors*, 8(1), 3557–3585.
- McBratney A, Whelan BM. 1995. The potential for site-specific management of cotton farming systems. Discussion Paper No. 1, Co-operative Research Center for Sustainable Cotton Production. Australia.
- Moldenhauer, K. E. W. C., Slaton, N. 2001. Rice growth and development. Rice production handbook, 7-14.
- Monostori, I., Árendás, T., Hoffman, B., Galiba, G., Gierczik, K., Szira, F., Vágújfalvi, A. 2016. Relationship between SPAD value and grain yield can be affected by cultivar, environment and soil nitrogen content in wheat. *Euphytica*, 211(1), 103-112.
- Muñoz-Huerta, R.F., Guevara-Gonzalez, R.G., Contreras-Medina, L.M., Torres-Pacheco, I., Prado- Olivarez, J. Ocampo-Velazquez, R.V., 2013. A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances. *Sensors*, 13(8), 10823- 10843.
- Neale, C. M., Jayanthi, H., & Wright, J. L. 2003. Crop and irrigation water management using high resolution airborne remote sensing. In Proceedings of 54th IEC meeting of the international commission on irrigation and drainage (ICID) workshop remote sensing of ET for large regions 17(1), 12.
- Oroka, F. O. 2011. Responses of rice and cowpea intercropping to nitrogen fertilizer and plant population (2): vegetatif growth and correlates of yield and yield components. *Libyan Agriculture Research Center Journal Internation*, 2(4), 174-179.
- Pinter Jr., P. J., Hatfield, J. L., Schepers, J. S., Barnes, E. M., Moran, M. S., Da S. T., and Upchurch, D. R. 2003. Remote Sensing for Crop Management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(6): 647-64.
- Prabawa, S., Pramudya, B., Astika, I. W., Setiawan, R. P. A., & Rustiadi, E. 2009. Sistem Informasi Geografis dalam Pertanian Presisi Aplikasi pada Kegiatan Pemupukan di Perkebunan Tebu.
- Pudumalar, S., Ramanujam, E., Rajashree, R. H., Kavya, C., Kiruthika, T., Nisha, J. 2017. Crop recommendation sistem for precision agriculture. In *Advanced Computing (ICoAC), 2016 Eighth International Conference on* (pp. 32-36). IEEE.
- Putra, B. T. W., & Soni, P. 2018. Enhanced broadband greenness in assessing Chlorophyll a and b, Carotenoid, and Nitrogen in Robusta coffee plantations using a digital camera. *Precision Agriculture*, 19(2), 238-256.
- Qiu, H.M., J.C. Wu, G.Q. Yang, B. Dong, and D.H. Li. 2004. Changes in the uptake function of the rice root to nitrogen, phosphorus and potassium under brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae) and pesticide stresses, and effect of pesticides on rice-grain filling in field. *Crop Prot.* 23 (11), 1041–1048.
- Rachmawati, D. dan Retnaningrum, E. 2013. Pengaruh tinggi dan lama penggenangan terhadap pertumbuhan padi kultivar sintanur dan dinamika populasi rhizobakteri

pemfiksasi nitrogen non simbiosis. *Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik* ISSN 1411 – 0903

Robert P. C. 2002. Precision agriculture: A challenge for crop nutrition management. *Plant Soil*, 247(1), 143–149.

Seang, T. P., Mund, J. 2006. Balloon based geo-referenced digital photo technique: a low cost highresolution option for developing countries. In *Proceedings of XXIII FIG Congress*. Munich, Germany.

Shukla, A.K., Ladha, J.K., Singh, V.K., Dwivedi, B.S., Balasubramanian, V., Gupta, R.K., Sharma, S.K., Singh, Y., Pathak, H., Pandey, P.S. Padre, A.T., 2004. Calibrating the leaf color chart for nitrogen management in different genotypes of rice and wheat in a systems perspective. *Agronomy Journal*. 96(6), 1606-1621.

Singh, B., Singh, Y., Ladha, J. K., Bronson, K. F., Balasubramanian, V., Singh, J., & Khind, C. S. 2002. Chlorophyll meter–and leaf color chart–based nitrogen management for rice and wheat in Northwestern India. *Agronomy Journal*, 94(4), 821-829.

Sripada, R. P., Heiniger, R. W., White, J. G., and Meijer, A. D. 2006. Aerial color infrared photography for determining early in-season nitrogen requirements in corn. *Agronomy Journal*, 98(4), 968-977.

Stafford, J. V. 2000. Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76, 267–275.

Stroppiana, D., Boschetti, M., Brivio, P. A., Bocchi, S. 2009. Plant nitrogen concentration in paddy rice from field canopy hyperspectral radiometry. *Field crops research*, 111(2), 119-129.

Sugiyono (2007). *Statistik Untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta, cv.

Swain, K. C., Jayasuriya, H. P. W., Salokhe, V. M. 2007. Suitability of low-altitude remote sensing images for estimating nitrogen treatment variations in rice cropping for precision agriculture adoption. *Journal of Applied Remote Sensing*, 1(1), 013547.

Taiz, L., Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology*, 5th ed.; Sinauer Associates Inc.: underland, MA, USA. 67–86. Tey, Y.S. and Brindal, M., 2012. Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. *Precision Agriculture*, 13(6), 713-730.

Tsouvalis, J., Seymour, S., Watkins, C. 2000. Exploring knowledge-cultures: precision farming, yield mapping, and the expert–farmer interface. *Environment and Planning A*, 32(5), 909-924.

Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8, 127–150.

Turner, F.T. and Jund, M.F., 1994. Assessing the nitrogen requirements of rice crops with a chlorophyll meter. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 34(7), pp.1001-1005.

- Uddling, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, K. and Pleijel, H., 2007. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis research*, 91(1), 37-46.
- Warren, G., Metternicht, G. 2005. Agricultural applications of high-resolution digital multispectral imagery: Evaluating within-field spatial variability of canola (*Brassica napus*) in Western Australia. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71(1), 595–602.
- Wu, W. 2014. The generalized difference vegetation index (GDVI) for dryland characterization. *Remote Sensing*, 6(2), 1211-1233.
- Xiang, H., & Tian, L. 2011. Method for automatic georeferencing aerial remote sensing (RS) images from an unmanned aerial vehicle (UAV) platform. *Biosystems Engineering*, 108, 104–113.
- Zhang, C. and Kovacs, J.M. 2012. The Application of Small Unmanned Aerial Systems for Precision Agriculture: A Review. *Precision agriculture*, 13(6), 693-712.
- Zheng, H., Cheng, T., Li, D., Zhou, X., Yao, X., Tian, Y., Zhu, Y. 2018. Evaluation of RGB, Color-Infrared and Multispectral Images Acquired from Unmanned Aerial Systems for the Estimation of Nitrogen Accumulation in Rice. *Remote Sensing*, 10(6), 824.
- Zhu, J., Wang, K., Deng, J., Harmon, T. 2009. Quantifying nitrogen status of rice using low altitude UAV- mounted system and object-oriented segmentation methodology. In *ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* American Society of Mechanical Engineers. 603-609.