

POTENSI DAN TANTANGAN PENERAPAN *PRECISION FARMING* DALAM UPAYA MEMBANGUN PERKEBUNAN KELAPA SAWIT YANG BERKELANJUTAN

Eko Noviandi Ginting dan Dhimas Wiratmoko

Abstrak - Pertanian presisi atau *precision farming* (PF) merupakan suatu sistem pengelolaan lahan pertanian yang berbasis informasi keragaman lahan, tanaman, dan iklim untuk menghasilkan suatu keputusan terbaik dengan tujuan untuk memperoleh keuntungan yang optimal, berkelanjutan, dengan tetap menjaga dan melindungi kelestarian lingkungan. Penerapan PF di perkebunan kelapa sawit dimaksudkan untuk mempermudah manajemen kebun dalam mengambil suatu keputusan terhadap berbagai permasalahan yang terjadi. Sistem pengelolaan perkebunan kelapa sawit yang kebanyakan masih dilakukan secara konvensional, baik dalam hal kultur teknis tanaman, pengelolaan tenaga kerja, maupun sistem administrasi, dinilai kurang optimal untuk menjamin keberlanjutan usaha perkebunan kelapa sawit. Oleh karenanya, PF mulai dikembangkan di perkebunan kelapa sawit dalam upaya mengelola seluruh keberagaman permasalahan yang ada secara cepat dan tepat sehingga dapat diambil keputusan yang tepat menyangkut manajemen yang sesuai secara spesifik baik dari segi lokasi, cara, maupun waktu.

Kata kunci: Precision farming, *Geographic Information System*, *remote sensing*

PENDAHULUAN

Era industri 4.0 menjadi tantangan di sektor pertanian untuk membangun pertanian berkelanjutan. Berbagai upaya untuk membuat suatu terobosan baru dengan tujuan menerapkan sistem pertanian berkelanjutan yang memprioritaskan perbaikan pada aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi terus dilakukan. Oleh karenanya, pemanfaatan berbagai teknologi untuk diadopsi dan diterapkan pada usaha agroindustri banyak dilakukan melalui sistem pertanian yang presisi yang dikenal dengan istilah *Precision Farming*. *Precesion farming* (PF) didefinisikan dalam banyak istilah, namun secara umum PF dapat diartikan sebagai suatu sistem pertanian yang menggabungkan informasi dan teknologi untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengelola seluruh variabilitas yang ada pada suatu lahan pertanian secara spesifik, dengan tujuan untuk

memperoleh keuntungan yang optimal, berkelanjutan, dengan tetap menjaga dan melindungi kelestarian lingkungan (Godwin et al., 2003; Khanal et al., 2017; Mulla 2013; Pierpaoli et al., 2013). Sistem pertanian PF diinduksi oleh terjadinya revolusi hijau yang semata-mata bertujuan untuk meningkatkan produksi tanaman untuk memenuhi kebutuhan pangan dunia tanpa memperhatikan efeknya terhadap lingkungan. PF mulai dikembangkan pada awal tahun 1980-an yang awalnya ditujukan pada lahan-lahan pertanian komoditi pangan. Namun dengan semakin berkembangnya teknologi maka PF saat ini tidak hanya diterapkan pada komoditi pangan, tetapi penerapannya sangat luas, salah satunya pada berbagai komoditi perkebunan seperti perkebunan kelapa sawit.

Kelapa sawit merupakan komoditi perkebunan yang memberikan banyak keuntungan di segala aspek yang mencakup aspek ekonomi maupun aspek sosial budaya masyarakat. Perkembangan perkebunan kelapa sawit yang sangat pesat, dimana pada tahun 2020 diperkirakan luas perkebunan kelapa sawit mencapai sekitar 15 juta hektar, dan telah memberikan sumbangan devisa terbesar bagi Indonesia. Dari aspek sosial budaya, perkembangan perkebunan

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Eko Noviandi Ginting(✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan, Indonesia
Email: eko.novandy@gmail.com

kelapa sawit di suatu daerah menyediakan banyak lapangan pekerjaan bagi masyarakat sekitar, dan mempercepat introduksi berbagai teknologi pada daerah tersebut. Namun demikian, perkembangan perkebunan kelapa sawit yang pesat tersebut bukan tanpa tantangan, berbagai permasalahan muncul pada sistem usaha perkebunan kelapa sawit, mulai dari permasalahan non teknis seperti isu pencemaran lingkungan dan sosial masyarakat, sampai permasalahan teknis seperti rendahnya produktivitas tanaman.

Perusahaan perkebunan merupakan *resources base corporate* yang artinya keunggulan kinerja baru akan muncul manakala perusahaan mampu mengakses dan mengelola sumberdaya yang tersedia secara optimal. Permasalahannya, kondisi sumberdaya yang ada di banyak perkebunan kelapa sawit saat ini sangat terbatas, baik sumberdaya manusia maupun sumberdaya lahannya. Sistem pengelolaan perkebunan kelapa sawit yang kebanyakan masih dilakukan secara konvensional, baik dalam hal kultur teknis tanaman, pengelolaan tenaga kerja, maupun sistem administrasi, dinilai kurang optimal untuk menjamin keberlanjutan usaha perkebunan kelapa sawit. Oleh karenanya, *precision farming* mulai dikembangkan di perkebunan kelapa sawit dalam upaya mengelola seluruh keberagaman permasalahan yang ada secara cepat dan tepat sehingga dapat diambil keputusan yang tepat menyangkut manajemen yang sesuai secara spesifik baik dari segi lokasi, cara, maupun waktu. Tentunya sudah banyak teknologi PF yang diterapkan pada perusahaan perkebunan kelapa sawit, terutama pada aspek pengolahan hasil atau pabrik kelapa sawit, namun dalam makalah ini dibahas dan dipaparkan penerapan dan tantangan PF di perkebunan kelapa sawit dari aspek tanaman untuk mendukung agroindustri yang berkelanjutan.

PENERAPAN PRECISION FARMING (PF) DI PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

Perkembangan teknologi informasi selalu membawa perubahan bagi kehidupan manusia di segala bidang, tidak terkecuali pada bidang pertanian atau perkebunan. Berbagai tantangan yang dahulunya dianggap sebagai suatu hal yang rumit untuk dipecahkan karena hanya bisa dilakukan secara manual dan memakan waktu yang lama menjadi lebih

sederhana dan cepat dengan adanya perkembangan teknologi tersebut. Dalam dunia pertanian, perkembangan teknologi telah banyak diadopsi dan dimanfaatkan sebagai suatu sistem yang dikenal dengan istilah *precision farming* (PF). Pada prinsipnya terdapat lima komponen utama dari PF yaitu: (1) mengukur keragaman, (2) menganalisis keragaman, (3) mengambil keputusan, (4) menerapkan perlakuan sesuai keragaman, dan (5) menilai serta mengevaluasi hasil yang berguna sebagai feedback solusi perbaikan selanjutnya. Melalui berbagai proses tersebut, maka penerapan PF pada suatu lahan pertanian akan memudahkan petani untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengelola seluruh variabilitas informasi yang ada dengan cepat, tepat, dan spesifik, sehingga dapat diterapkan manajemen yang sesuai pada suatu lahan pertanian.

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya bahwa perkembangan perkebunan kelapa sawit di Indonesia dihadapkan pada berbagai permasalahan terutama masalah teknis yang menyebabkan rendahnya produktivitas tanaman jauh dari potensinya. Sementara itu, tingginya biaya produksi akibat input yang tidak sesuai, tidak efisiennya metode yang diterapkan serta kurang teraturnya sistem administrasi, berpotensi mengancam keberlanjutan usaha perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Menghadapi berbagai permasalahan tersebut mendorong para petani kelapa sawit (*planters*) dan seluruh *stake holders* mulai menyadari pentingnya untuk mengadopsi berbagai teknologi untuk diterapkan dalam manajemen perkebunan kelapa sawit sebagai suatu sistem *precision farming*. Dalam kaitannya dengan penerapan PF pada perkebunan kelapa sawit terdapat beberapa komponen dasar dari PF, yaitu teknologi GPS (*Global Positioning System*), teknologi GIS (*Geographic Information System*), teknologi *remote sensing* atau penginderaan jauh, dan teknologi *variable-rate application* yang mencakup teknologi sensor dan berbagai peralatan mesin.

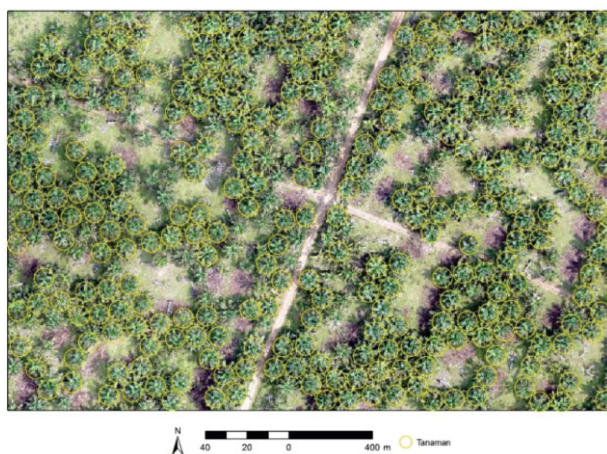
Aplikasi PF Untuk Penentuan Posisi Dan Pemetaan Sebagai Dasar Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit.

Perkembangan teknologi GPS dan GIS telah banyak digunakan sebagai suatu sistem PF di perkebunan kelapa sawit, diantaranya untuk

memetakan area tanaman secara lebih cepat dan tepat, sebagai alat bantu navigasi peralatan berat seperti traktor, serta berbagai aspek perkebunan kelapa sawit lainnya (Cheng et al., 2016; 2018; Miettinen et al., 2019; Rendana et al., 2016). (Nordiana et al., 2013) mengembangkan teknologi GPS dan GIS sebagai suatu peralatan yang dapat digunakan untuk merancang peta areal perkebunan yang meliputi area blok tanaman, parit, jalan, jembatan, serta komponen kebun lainnya sehingga dengan teknologi ini sangat bermanfaat bagi *planters* untuk menyusun rencana kerja dan pembiayaan secara lebih tepat ketika ingin membuka areal perkebunan kelapa sawit yang baru. Sementara itu, (Akmal et al., 2018) mengembangkan teknologi GPS dan GIS berbasis webGIS yang digunakan sebagai dasar pengelolaan perkebunan dalam rangka mencapai pemupukan yang lebih efektif dan efisien. Demikian juga halnya, (Wahid et al., 2002) juga mengembangkan teknologi GPS dan GIS sebagai dasar penentuan titik sampling pengambilan daun berdasarkan keragaman pertumbuhan tanaman

sehingga penentuan dosis pupuk dapat dilakukan lebih tepat.

Pemanfaatan teknologi *remote sensing* juga telah banyak digunakan di perkebunan kelapa sawit sebagai suatu metode yang sangat berguna untuk memonitor status dan perkembangan perkebunan kelapa sawit. (Chong et al., 2017) menyatakan bahwa penggunaan teknologi *remote sensing* di perkebunan kelapa sawit dapat membantu *planters* dan *stake holders* untuk menentukan manajemen kebun yang efisien dan melakukan investigasi efek praktik di perkebunan kelapa sawit terhadap lingkungan. Teknologi *remote sensing* dapat dimanfaatkan untuk melakukan estimasi luas areal perkebunan kelapa sawit secara akurat berdasarkan klasifikasi penutupan lahan dengan bantuan citra landsat (Nooni et al., 2014), *near-infra red* atau NIR dari kandungan klorofil tanaman (Shafri et al., 2011), struktur kanopi (De Petris et al., 2019; Razali et al., 2014; Teng et al., 2015).



Gambar 1. Contoh penerapan PF dengan memanfaatkan teknologi drone dan remote sensing untuk menghitung jumlah tanaman di perkebunan kelapa sawit.

Teknologi *remote sensing* yang dikombinasikan dengan *drone* juga sudah dimanfaatkan secara spesifik dalam manajemen perkebunan kelapa sawit untuk menghitung jumlah pohon secara cepat dan tepat (Gambar 1). Jumlah tanaman yang akurat sangat dibutuhkan sebagai dasar untuk menentukan biaya perawatan tanaman termasuk pemupukan, memonitoring dan mengestimasi produksi, perencanaan replanting tanaman, serta

berbagai rencana kerja lainnya. Namun, perhitungan jumlah pohon secara manual akan membutuhkan biaya yang mahal, waktu yang cukup lama, serta rentan terhadap kesalahan akibat faktor *human error*.

Penerapan PF melalui pemanfaatan teknologi *remote sensing* untuk menghitung jumlah pohon secara cepat dan tepat telah banyak dilakukan dan terbukti sangat membantu manajemen kebun

dalam mengelola perkebunan kelapa sawit (Fitrianto et al., 2017; Rizzei et al., 2018; Santoso et al., 2016; Shafri et al., 2011; Wang et al., 2018).

Pemanfaatan PF Untuk Mengestimasi Umur Tanaman, Mendeteksi Serangan Hama Dan Penyakit, dan Mengestimasi Produksi Tanaman Kelapa Sawit

Informasi tentang umur tanaman sangat bermanfaat dalam manajemen perkebunan kelapa sawit, diantaranya sebagai dasar untuk monitoring dan estimasi produksi, monitoring anomali pertumbuhan tanaman, sehingga dapat diputuskan suatu praktik manajemen yang tepat. Pada sistem konvensional, umur tanaman dapat diketahui melalui catatan manajemen kebun ketika pertama kali tanaman kelapa sawit di tanam di lapangan. Namun tidak jarang karena sistem administrasi yang kurang baik di suatu kebun, sering terjadi kehilangan data atau tidak tercatatnya dengan baik tentang informasi tanam tersebut. Kasus ini sering ditemukan ketika terjadi *take over* antara dua perusahaan perkebunan kelapa sawit. Akibatnya, manajemen kebun akan kesulitan untuk merencanakan dan menerapkan praktik manajemen yang tepat pada areal tanaman. Dengan menerapkan PF dengan teknologi *remote sensing* maka informasi tentang umur tanaman ini dapat diketahui dengan cepat dan tepat (Gambar 2). Penelitian tentang penerapan PF untuk mengestimasi umur tanaman telah banyak dilakukan, diantaranya estimasi berdasarkan *leaf area index* (LAI) dengan mengumpulkan data tentang parameter biofisika tanaman seperti bayangan, kekasaran permukaan, karakteristik tajuk tanaman dan respon *spectral* tanaman (Bréda 2003; Chemura et al. 2014; Fawcett et al. 2019; McMorow 2001; Mubin et al. 2019; Tan et al. 2013).

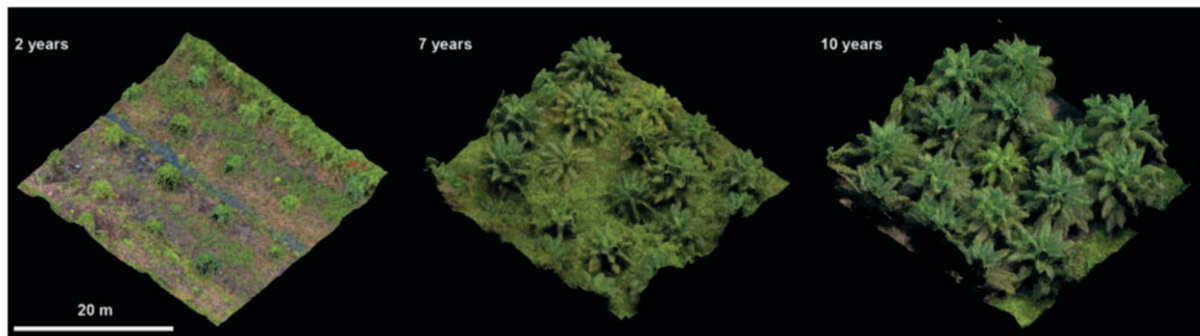
Deteksi serangan hama penyakit secara cepat dan tepat sangat dibutuhkan dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit, karena melalui hasil deteksi dini tersebut dapat membantu manajemen kebun untuk menentukan perlakuan yang harus diterapkan untuk mencegah meluasnya serangan hama dan penyakit tersebut. Salah satu penyakit yang banyak menyerang dan mengakibatkan kerugian di perkebunan kelapa sawit adalah penyakit yang disebabkan jamur *Ganoderma*. Secara konvensional tanaman yang terserang *Ganoderma* dapat

diidentifikasi melalui gejala yang muncul, seperti akumulasi daun tombak lebih dari 3, kemudian adanya busuk pada pangkal batang, dan memucatnya warna daun. Namun ketika gejala tersebut muncul, biasanya tanaman sudah terserang sangat parah sehingga sulit untuk mempertahankannya. Selain itu, sering juga ditemukan tanaman tanpa gejala tersebut ternyata juga terserang *Ganoderma*, kemudian tanaman tumbang. Dengan penerapan PF yang mengadopsi teknologi *remote sensing* tanaman yang terserang penyakit tersebut dapat dideteksi secara cepat dan tepat. (Santoso et al., 2011) memanfaatkan teknologi satelit *remote sensing Quickbird* dengan resolusi tinggi untuk mengidentifikasi serangan *Ganoderma* berdasarkan indeks tanaman yang disusun berdasarkan refleksi cahaya dari klorofil tanaman. Selanjutnya Shafri and Hamdan (2009) dan Liaghat et al., (2014) juga mengembangkan teknologi deteksi penyakit *Ganoderma* menggunakan citra hyperspectral yang disusun berdasarkan indeks tanaman dengan karakteristik spectral tertentu. Selain serangan penyakit, PF juga sudah diterapkan untuk mendeteksi serangan hama seperti ulat kantong sebagaimana yang telah dilakukan oleh Aziz et al., (2012) yang mengukur refleksi *spectral* dari daun tanaman untuk mengidentifikasi tingkat keparahan serangan hama. Pemanfaatan drone yang dilengkapi dengan berbagai sensor multispectral seperti infra-merah *thermal*, dan *hyperspectral* untuk menangkap pantulan atau *spectral* dari warna hijau daun tanaman dan informasi lainnya juga sudah banyak dimanfaatkan di perkebunan kelapa sawit Shamshiri et al., 2016; Uktoro 2017). Dengan sistem ini akan dihasilkan peta status kesehatan tanaman yang akan sangat membantu untuk menentukan prioritas perawatan pada blok-blok tanaman di perkebunan kelapa sawit.

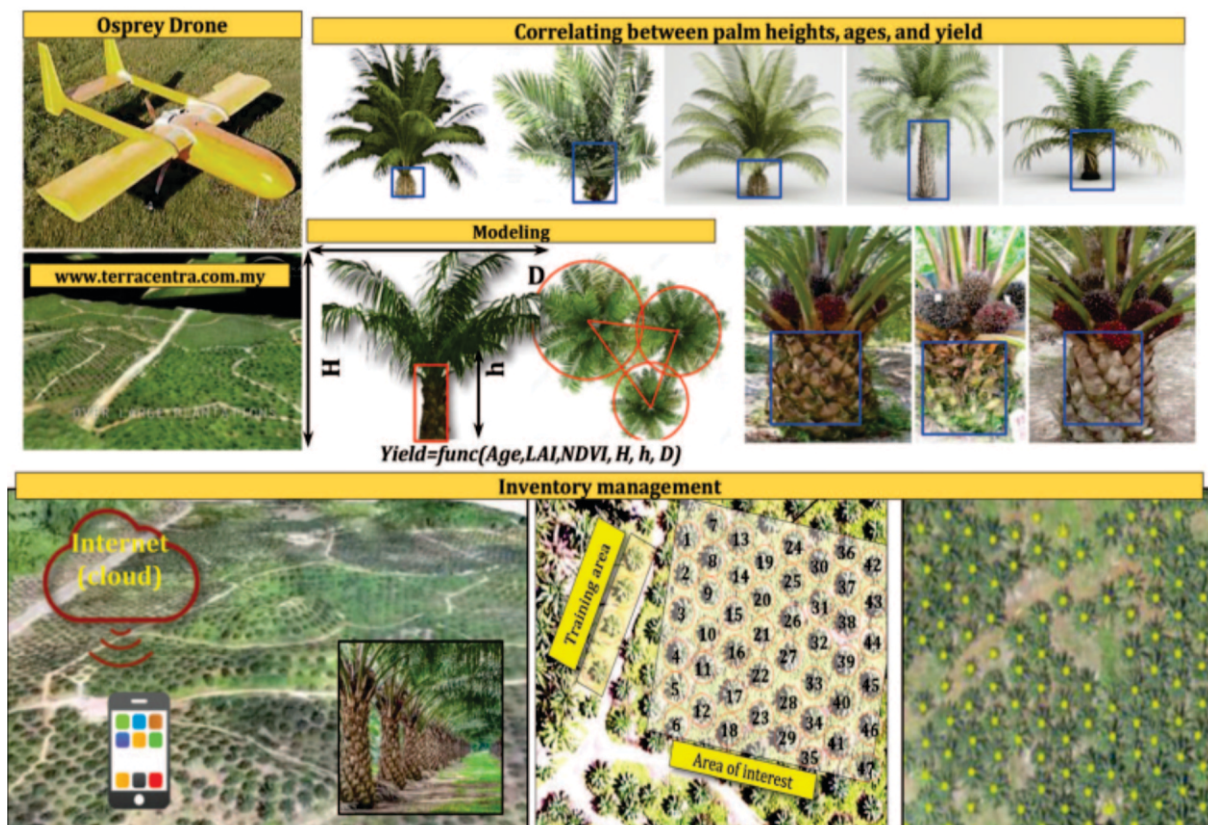
Penerapan PF di perkebunan kelapa sawit juga sudah dilakukan untuk mengestimasi produksi tanaman (Gambar 3). Estimasi produksi dalam manajemen perkebunan kelapa sawit selalu dilakukan untuk menentukan program kerja perkebunan yang tepat untuk memperoleh keuntungan yang optimal. Penerapan PF untuk mengestimasi tanaman didasarkan pada informasi mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi produksi seperti kondisi iklim, kondisi tanah, umur tanaman, dan faktor lainnya. Saat ini PF yang banyak diterapkan di

perkebunan kelapa sawit untuk mengestimasi produksi didasarkan pada informasi indeks tanaman yang diturunkan foto satelit *Quickbird* (Balasundram et al., 2013; Darmawan et al., 2016; Khamiz et al., 2005; Setyowati et al., 2016). Namun demikian, melalui kombinasi dari informasi faktor eksternal yang mempengaruhi

produksi seperti curah hujan, kesuburan tanah, serangan hama penyakit, dan faktor internal seperti jumlah tanaman, varietas tanaman, dan umur tanaman dapat dianalisis menggunakan berbagai teknologi komputerisasi untuk mendapatkan model prediksi produksi yang akurat dalam bentuk *software*.



Gambar 2. Contoh penerapan PF untuk mengidentifikasi umur tanaman di perkebunan kelapa sawit. Sumber: Faucett et al. (2019)

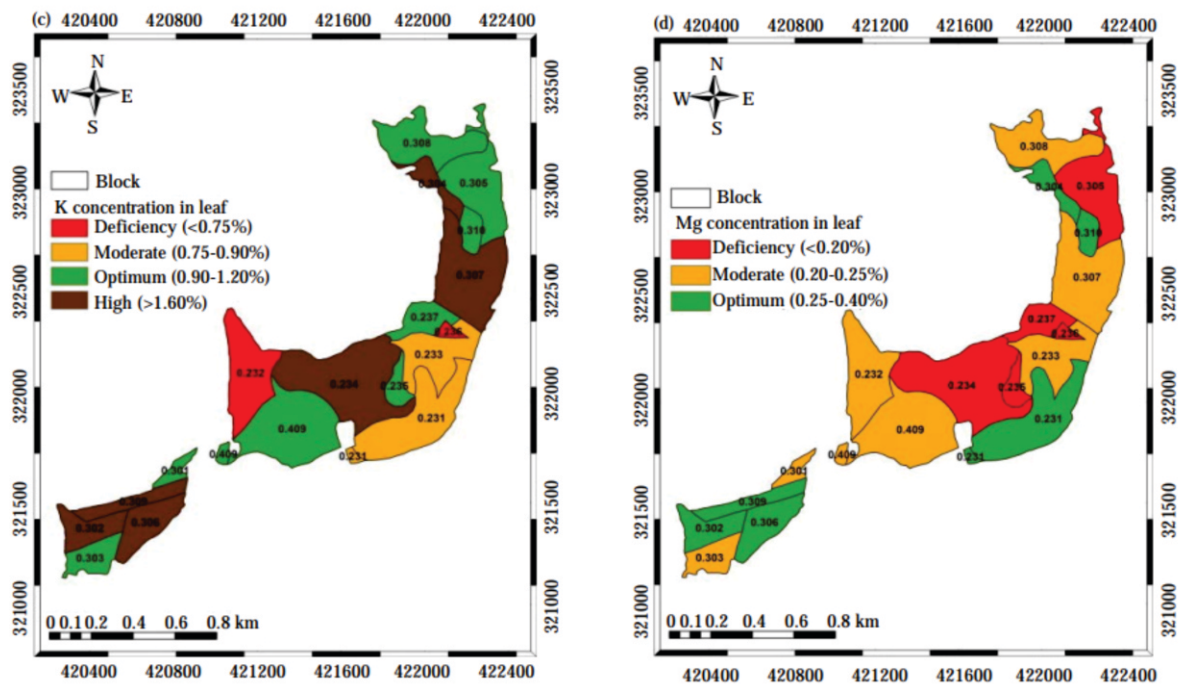


Gambar 3. Contoh penerapan PF untuk mengestimasi produksi tanaman dengan menggunakan drone. Sumber: Shamshiri et al. (2018)

Penerapan PF Dalam Bidang Perawatan Tanaman dan Mekanisasi di Perkebunan Kelapa Sawit

Salah satu kegiatan perawatan tanaman yang sangat penting di dalam manajemen perkebunan kelapa sawit adalah pemupukan. Kegiatan pemupukan di perkebunan kelapa sawit biasanya diawali dengan pengambilan contoh daun dan tanah untuk selanjutnya dianalisis di laboratorium sebelum menghasilkan dosis pupuk yang tepat. Tentu saja kegiatan ini memerlukan waktu yang panjang dan biaya yang tidak sedikit. Namun dengan penerapan PF maka proses ini dapat dipersingkat dan lebih praktis serta murah. Salah satu bentuk PF dalam bidang pemupukan di perkebunan kelapa sawit yang diperkenalkan oleh Institut Pertanian Bogor (IPB)

adalah Precipalm (*Precision Agriculture Platform for Oil Palm*), yaitu sebuah sistem rekomendasi pemupukan dengan pemodelan matematis yang memanfaatkan band warna dari daun tanaman kelapa sawit dengan bantuan citra satelit untuk menentukan kadar hara makro N, P, K, dan Mg tanaman. Dengan sistem ini keputusan pemupukan menyangkut dosis dan jenis pupuk yang akan diaplikasikan dapat ditentukan dengan cepat dan akurat sehingga menjadi lebih efisien. Selain itu, pemantauan status hara tanaman juga dapat dilakukan dengan menggunakan spectral tanaman yang ditentukan oleh kandungan klorofil daun (Rendana et al., 2016) (Gambar 4). Dengan adanya status hara tanaman ini maka kegiatan pemupukan akan lebih tepat sasaran.



Gambar 4. Contoh penerapan PF untuk memetakan status hara tanaman secara akurat. Sumber: Rendana et al. (2016).

Selain di bidang pemupukan, PF di perkebunan kelapa sawit juga sudah diarahkan untuk mengidentifikasi kematangan tandan buah segar (TBS) secara tepat. Kematangan buah merupakan hal yang cukup krusial pada manajemen perkebunan kelapa sawit, karena menyangkut rendemen atau jumlah kandungan minyak buah dan kualitas minyak

buah atau yang dikenal dengan CPO (*Crude Palm Oil*). Jika buah mentah terpanen maka akan menghasilkan rendemen yang rendah, sebaliknya jika buah yang dipanen terlalu matang maka kualitasnya akan menurun karena tingginya kandungan asam lemak bebas (ALB). Oleh karenanya, penelitian PF untuk perkebunan kelapa sawit juga sudah diarahkan pada

pemanfaatan teknologi sensor dan remote sensing untuk mengidentifikasi kematangan buah dengan tepat. (Shabdin et al. 2016) melakukan penelitian untuk menghasilkan suatu kamera dengan resolusi yang tinggi yang mampu mengidentifikasi kematangan buah berdasarkan indeks warna buah.

Penerapan PF di perkebunan kelapa sawit banyak menyentuh pada aspek mekanisasi pekerjaan yang awalnya dilakukan secara manual. Industri kelapa sawit merupakan industri yang sangat tergantung pada tenaga kerja mulai dari penanaman sampai dengan *processing*. Akibatnya, beberapa pekerjaan di kebun kelapa sawit menjadi kurang efektif dan efisien baik akibat terbatasnya jumlah tenaga kerja maupun berkaitan dengan

kapabilitas tenaga kerja itu sendiri. Sebagai contoh, pada kegiatan panen secara konvensional selalu digunakan sepenuhnya tenaga manusia. Namun pada daerah-daerah tertentu dimana tenaga manusia sangat terbatas sering mengakibatkan terjadinya penundaan panen yang berakibat terhadap kerugian yang akan ditanggung perusahaan. Dengan adanya mekanisasi di perkebunan kelapa sawit maka produktivitas dan efisiensi pekerjaan dapat ditingkatkan. Beberapa mekanisasi yang telah diterapkan di perkebunan kelapa sawit diantaranya adalah: alat panen mekanis, alat pengangkut TBS, alat pengutip berondolan, dan alat penabur pupuk (Abd Rahim et al., 2017; Fairuz et al., 2018; Shuib et al., 2010) (Gambar 5).



Gambar 5. Beberapa contoh penerapan PF pada aspek mekanisasi peralatan di perkebunan kelapa sawit, contoh mekanisasi alat panen (atas), alat pengutip dan pengangkut TBS (tengah) dan alat penabur pupuk (bawah).
Sumber: Shuib et al. (2017), Sumber: Shuib et al. (2017), <http://www.aarsb.com.my/fertilizer-management-application>; <http://www.agrina-online.com/detail-berita/2019/02/05/10/6438/perkebunan--mekanisasi-pemupukan-di-kebun-sawit>

TANTANGAN PENERAPAN PF DI PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

Tujuan utama dari penerapan PF di perkebunan kelapa sawit adalah agar manajemen kebun dapat memberikan input produksi yang bervariasi (termasuk tenaga kerja serta input material) sesuai dengan karakteristik lahan maupun tanaman secara spesifik sehingga dapat memperoleh keuntungan ekonomi yang maksimum sembari tetap menjaga kelestarian lingkungan. Di sisi lain, faktanya usaha perkebunan kelapa sawit tersebar luas hampir di seluruh wilayah di Indonesia, mulai dari Barat sampai ke Timur. Hal ini berarti kebun kelapa sawit dikelola dengan sistem manajemen yang beragam disesuaikan dengan segala sumberdaya yang ada dan kearifan lokal di daerah dimana perkebunan kelapa sawit tersebut diusahakan. Oleh karenanya, penerapan PF di perkebunan kelapa sawit saat ini masih dihadapkan oleh berbagai tantangan. Beberapa tantangan tersebut antara lain adalah pengetahuan yang masih terbatas dari sumberdaya manusia yang tersedia di perkebunan, tidak fleksibelnya sistem PF yang ada, adanya resistensi atau penolakan dari sebagian pekerja di perkebunan baik dari aspek sosial maupun budaya, masalah infrastruktur yang belum mendukung kemajuan teknologi sebagai dasar penerapan suatu sistem pertanian yang presisi, serta masih tergolong mahal biaya yang diperlukan untuk penerapan PF tersebut.

Sistem PF selalu terkait dengan perkembangan teknologi, oleh karenanya diperlukan pengetahuan yang mumpuni terkait teknologi dari sumberdaya manusia yang menggunakan atau mengoperasikan sistem PF tersebut. Dalam perkebunan kelapa sawit, umumnya tingkat pendidikan karyawan sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi. Kondisi ini menjadi salah satu tantangan dalam penerapan PF di perkebunan kelapa sawit. Artinya, untuk dapat menerapkan suatu sistem PF dengan baik di suatu perkebunan kelapa sawit, pihak manajemen kebun harus bisa mendidik seluruh perangkat kebun agar dapat berjalan dan mematuhi sistem PF yang diterapkan. Hal ini dapat disiasati dengan menciptakan sistem PF yang *user friendly* atau mudah digunakan, sehingga seluruh perangkat kebun dapat memahami dan menjalankan sistem PF tersebut dengan mudah. Tantangan selanjutnya yang paling sering ditemui kaitannya dengan penerapan PF di perkebunan kelapa sawit adalah adanya penolakan dari pekerja kebun itu sendiri.

Sistem pengelolaan perkebunan kelapa sawit yang selama ini dilakukan secara konvensional menyebabkan para pekerja merasa bahwa penerapan PF justru akan mempersulit pekerjaan mereka. Oleh karenanya pihak manajemen perkebunan harus bisa mensosialisasikan dan meyakinkan pekerja sedemikian mungkin bahwa penerapan PF justru akan memudahkan pekerjaan mereka, tentunya dengan mengadopsi teknologi yang praktis untuk dikerjakan oleh para pekerja kebun. Hal yang tak kalah penting yang menjadi tantangan besar penerapan PF di perkebunan kelapa sawit adalah ketersediaan infrastruktur sebagai pendukung teknologi, misalnya ketersediaan jaringan internet. Karena umumnya perkebunan kelapa sawit berada pada daerah-daerah pedalaman, maka tak jarang keberadaan infrastruktur untuk mendukung PF menjadi permasalahan utama yang menghambat penerapan PF di perkebunan kelapa sawit.

Untuk dapat menerapkan sistem PF di perkebunan kelapa sawit, dibutuhkan kerjasama yang baik dari berbagai pihak yaitu lembaga penelitian atau perguruan tinggi, pelaku industri atau pihak swasta, dan pemerintah. Lembaga penelitian atau perguruan tinggi merupakan cikal bakal penerapan teknologi yang akan dimanfaatkan. Oleh karenanya, lembaga penelitian atau perguruan tinggi harus mampu membaca arah teknologi yang dibutuhkan, sehingga dapat mengarahkan penelitiannya untuk menghasilkan teknologi yang dibutuhkan tersebut. Selanjutnya pihak swasta sebagai pelaku industri harus berperan dalam memfasilitasi teknologi yang dihasilkan agar dapat diproduksi dalam bentuk barang, sistem, maupun jasa yang dibutuhkan oleh pengguna teknologi. Terakhir, pemerintah sebagai penentu kebijakan harus dapat berperan sebagai regulator, fasilitator, dan mediator. Sebagai regulator, pemerintah harus dapat mengeluarkan kebijakan-kebijakan yang berpihak dan memudahkan perkembangan teknologi sehingga dapat diadopsi dengan mudah dalam sistem pertanian presisi. Sebagai fasilitator, pemerintah harus menyediakan berbagai fasilitas termasuk infrastruktur untuk mendukung perkembangan teknologi. Sementara sebagai mediator, pemerintah harus berperan sebagai penghubung antara penghasil teknologi (lembaga penelitian, perguruan tinggi, maupun instansi lainnya yang berhubungan dengan riset dan teknologi) dengan pelaku industri selaku pihak yang akan memproduksi

dan mengkomersialisasikan teknologi sebagai sebuah inovasi. Dengan demikian, teknologi yang dihasilkan dapat diterapkan dalam bentuk PF dan dapat dirasakan manfaatnya oleh masyarakat luas, tidak hanya oleh perkebunan besar atau perusahaan namun juga oleh para petani rakyat.

PENUTUP

Pertanian atau agroindustri berkelanjutan merupakan kebutuhan jangka panjang untuk mendukung kehidupan manusia seiring dengan semakin menurunnya daya dukung sumberdaya alam, dan terjadinya perubahan iklim secara global. Untuk menjamin keberlanjutan agroindustri ini diperlukan dukungan perkembangan teknologi melalui sistem pertanian *precision farming*. Sebagai negara penghasil minyak nabati kelapa sawit terbesar di dunia, sudah sepatutnya Indonesia menerapkan sistem pertanian PF pada seluruh perkebunan kelapa sawitnya dalam upaya mencapai keberlanjutan usaha industri kelapa sawit. Berbagai teknologi telah banyak dikembangkan untuk dapat diterapkan di perkebunan kelapa sawit, mulai dari teknologi posisi atau pemetaan, teknologi pengelolaan atau manajemen kebun, sampai aspek mekanisasi pekerjaan di perkebunan kelapa sawit. Walaupun potensi dan hasil riset terkait PF telah banyak diterapkan dan terbukti memberikan peluang dan solusi baru bagi pengelolaan perkebunan kelapa sawit yang berkelanjutan, namun dalam penerapannya masih diperlukan pengkajian, diseminasi, dan edukasi terutama bagi para pihak yang bersentuhan langsung dengan teknologi yang diadopsi oleh suatu sistem PF, yaitu *planters*, lembaga penelitian atau perguruan tinggi dan pelaku industri. Selain itu, dukungan pemerintah untuk dapat memainkan perannya sebagai fasilitator, mediator, dan regulator dengan baik sangat diperlukan untuk mendukung pengembangan teknologi yang akan diadopsi oleh suatu sistem PF di perkebunan kelapa sawit. Investasi teknologi untuk penerapan PF di perkebunan kelapa sawit perlu dihitung dan direncanakan dengan bijak dengan mempertimbangkan kesiapan sumberdaya yang ada termasuk sumberdaya alam dan sumberdaya manusia, infrastruktur pendukung, serta budaya kerja di setiap perkebunan kelapa sawit agar transformasi proses bisnis melalui penerapan PF dapat dilakukan secara berkesinambungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Rahim S, Mohd Ramdhan K, Mohd Solah D. (2017). *Innovation And Technologies For Oil Palm Mechanization*.
- Akmal F, Ramdani F, Pinandito A. (2018). Sistem Informasi Pengelolaan Perkebunan Kelapa Sawit Berbasis Web GIS. *J. Pengemb. Teknol. Inf. Dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya* 2(5):1894–1901.
- Aziz N, Omar W, Kassim R, Kamarudin N. (2012). *Remote Sensing Measurement For Detection Of Bagworm Infestation In Oil Palm Plantation*.
- Balasundram SK, Memarian H, Khosla R. (2013). Estimating oil palm yields using vegetation indices derived from QuickBird. *Life Sci. J.* 10(4):851–860.
- Bréda NJJ. (2003). Ground-based measurements of leaf area index: A review of methods, instruments and current controversies. *J. Exp. Bot.* 54 (3 9 2) : 2 4 0 3 – 2 4 1 7 . doi:10.1093/jxb/erg263.
- Chemura A, Duren I Van, Leeuwen LM Van. (2014). ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Determination of the age of oil palm from crown projection area detected from WorldView-2 multispectral remote sensing data: The case of Ejisu-Juaben district, Ghana. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* . doi:10.1016/j.isprsjprs.2014.07.013.
- Cheng Y, Yu L, Xu Y, Liu X, Lu H, Cracknell AP, Kanniah K, Gong P. (2018). Towards global oil palm plantation mapping using remote-sensing data. *Int. J. Remote Sens.* 39(18):5891–5906. doi:10.1080/01431161.2018.1492182.
- Cheng Y, Yu L, Cracknell AP, Gong P. (2016). Oil palm mapping using Landsat and PALSAR: a case study in Malaysia. *Int. J. Remote Sens.* 37 (2 2) : 5 4 3 1 – 5 4 4 2 . doi:10.1080/01431161.2016.1241448.
- Chong KL, Kanniah KD, Pohl C, Tan KP. (2017). A review of remote sensing applications for oil palm studies. *Geo-Spatial Inf. Sci.* 20 (2) : 1 8 4 – 2 0 0 . doi:10.1080/10095020.2017.1337317.
- Darmawan S, Takeuchi W, Haryati A, Najib RAM,

- Na'Aim M. (2016). An investigation of age and yield of fresh fruit bunches of oil palm based on ALOS PALSAR 2. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, p.
- Fairuz S, Manaf A, Jahim J, Harun S, Amru A, Luth I. (2018). Industrial Crops & Products Fractionation of oil palm fronds (OPF) hemicellulose using dilute nitric acid for fermentative production of xylitol. 115(May 2 0 1 7) : 6 – 1 5 . doi:10.1016/j.indcrop.2018.01.067.
- Fawcett D, Azlan B, Hill TC, Kho LK, Bennie J, Anderson K. (2019). Unmanned aerial vehicle (UAV) derived structure-from-motion photogrammetry point clouds for oil palm (*Elaeis guineensis*) canopy segmentation and height estimation. *Int. J. Remote Sens.* 4 0 (1 9) : 7 5 3 8 – 7 5 6 0 . doi:10.1080/01431161.2019.1591651.
- Fitrianto AC, Tokimatsu K, Sufwandika M. (2017). Estimation the Amount of Oil Palm Trees Production Using Remote Sensing Technique. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, p.
- Godwin RJ, Wood GA, Taylor JC, Knight SM, Welsh JP. (2003). Precision farming of cereal crops: A review of a six year experiment to develop management guidelines. *Biosyst. Eng.* 84(4):375–391. doi:10.1016/S1537-5110(03)00031-X.
- Khamiz A, Ismail Z, Haron K, Mohamed AT. (2005). Nonlinear Growth Models for Modeling Oil Palm Yield Growth. *J. Math. Stat.* 1(3):225–233. doi:10.3844/jmssp.2005.225.233.
- Khanal S, Fulton J, Shearer S. (2017). An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. *Comput. Electron. Agric.* 13922–32. doi:10.1016/j.compag.2017.05.001.
- Liaghat S, Ehsani R, Mansor S, Shafri HZM, Meon S, Sankaran S, Azam SHMN. (2014). Early detection of basal stem rot disease (*Ganoderma*) in oil palms based on hyperspectral reflectance data using pattern recognition algorithms. *Int. J. Remote Sens.* 3 5 (1 0) : 3 4 2 7 – 3 4 3 9 . doi:10.1080/01431161.2014.903353.
- McMorrow J. (2001). Linear regression modelling for the estimation of oil palm age from Landsat TM. *Int. J. Remote Sens.* 22(12):2243–2264. doi:10.1080/01431160117188.
- Miettinen J, Gaveau DLA, Liew SC. (2019). Comparison of visual and automated oil palm mapping in Borneo. *Int. J. Remote Sens.* 4 0 (2 1) : 8 1 7 4 – 8 1 8 5 . doi:10.1080/01431161.2018.1479799.
- Mubin NA, Nadarajoo E, Shafri HZM, Hamedianfar A. (2019). Young and mature oil palm tree detection and counting using convolutional neural network deep learning method. *Int. J. Remote Sens.* 40(19):7500–7515. doi:10.1080/01431161.2019.1569282.
- Mulla DJ. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosyst. Eng.* 1 1 4 (4) : 3 5 8 – 3 7 1 . doi:10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009.
- Nooni IK, Duker AA, Van Duren I, Addae-Wireko L, Osei Jnr EM. (2014). Support vector machine to map oil palm in a heterogeneous environment. *Int. J. Remote Sens.* 35(13):4778–4794. doi:10.1080/01431161.2014.930201.
- Nordiana AA, Omar W, Ab Ghani E, Zaki A, Mohamed AT, Hashim Z, Kamaruddin N. (2013). *Land Evaluation For Oil Palm Cultivation Using Geospatial Information Technologies*.
- De Petris S, Boccardo P, Borgogno-Mondino E. (2019). Detection and characterization of oil palm plantations through MODIS EVI time series. *Int. J. Remote Sens.* 40(19):7297–7311. doi:10.1080/01431161.2019.1584689.
- Pierpaoli E, Carli G, Pignatti E, Canavari M. (2013). Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review. *Procedia Technol.* 8 (H a i c t a) : 6 1 – 6 9 . doi:10.1016/j.protcy.2013.11.010.
- Razali SM, Marin A, Nuruddin AA, Shafri HZM, Hamid HA. (2014). Capability of integrated MODIS imagery and ALOS for oil palm, rubber and forest areas mapping in tropical forest regions. *Sensors (Switzerland)* 14(5):8259–8282. doi:10.3390/s140508259.
- Rendana M, Rahim SA, Idris WMR, Lihan T, Rahman

- 32 (8) : 2095 – 2115 .
doi:10.1080/01431161003662928.
- Shamshiri RR, Hameed IA, Balasundram SK, Ahmad D, Weltzien C, Yamin M. (2016). Fundamental Research on Unmanned Aerial Vehicles to Support Precision Agriculture in Oil Palm Plantations. *IntechOpen i(tourism)*:91–116. doi:http://dx.doi.org/10.5772/57353.
- Shuib AR, Khalid MR, Deraman MS. (2010). *Enhancing Field Mechanization In Oil Palm Management*.
- Tan KP, Kanniah KD, Cracknell AP. (2013). Use of UK-DMC 2 and ALOS PALSAR for studying the age of oil palm trees in southern peninsular Malaysia. *Int. J. Remote Sens.* 34 (20) : 7424 – 7446 .
doi:10.1080/01431161.2013.822601.
- Teng KC, Koay JY, Tey SH, Lim KS, Ewe HT, Chuah HT. (2015). A dense medium microwave backscattering model for the remote sensing of oil palm. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 53 (6) : 3250 – 3259 .
doi:10.1109/TGRS.2014.2372796.
- Uktoro AI. (2017). Analisis Citra Drone Untuk Monitoring Kesehatan Tanaman Kelapa Sawit. *J. Agroteknose* 7(2):8–15.
- Wahid O, Xavier A, Tarmizi A., Ibrahim S. (2002). *Precision Agriculture: Fertilizer Management Map Part 1: Spatial And Correlation Analysis Of Yield and Leaf Nutrient*.
- Wang Y, Zhu X, Wu B. (2019). Automatic detection of individual oil palm trees from UAV images using HOG features and an SVM classifier. *Int. J. Remote Sens.* 40(19):7356–7370. doi:10.1080/01431161.2018.1513669.
- Wang Y, Min Y, Osayande L, Shi P, Cao H. (2018). *Scientia Horticulturae* Pollen germination genes differentially expressed in different pollens from Dura , Pisifera and Tenera oil palm (*Elaeis guineensis* jacq.). *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 235(February):32–38. doi:10.1016/j.scienta.2018.02.004.
- ZA. (2016). Mapping nutrient status in oil palm plantation using geographic information system. *Asian J. Agric. Res.* 10(3–4):144–153. doi:10.3923/ajar.2016.144.153.
- Rizeei HM, Shafri HZM, Mohamoud MA, Pradhan B, Kalantar B. (2018). Oil palm counting and age estimation from WorldView-3 imagery and LiDAR data using an integrated OBIA height model and regression analysis. *J. Sensors* 2018. doi:10.1155/2018/2536327.
- Santoso H, Gunawan T, Jatmiko RH, Darmosarkoro W, Minasny B. (2011). Mapping and identifying basal stem rot disease in oil palms in North Sumatra with QuickBird imagery. *Precis. Agric.* 12(2):233–248. doi:10.1007/s11119-010-9172-7.
- Santoso H, Tani H, Wang X. (2016). A simple method for detection and counting of oil palm trees using high-resolution multispectral satellite imagery. *Int. J. Remote Sens.* 37 (21) : 5122 – 5134 .
doi:10.1080/01431161.2016.1226527.
- Setyowati HA, Murti SHBS, Widyatmanti W. (2016). Yield estimation comparison of oil palm based on plant density coefficient variation index using spot-6 imagery in part of Riau. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, p.
- Shabdin MK, Shariff ARM, Johari MNA, Saat NK, Abbas Z. (2016). A study on the oil palm fresh fruit bunch (FFB) ripeness detection by using Hue, Saturation and Intensity (HSI) approach. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, p.
- Shafri HZM, Hamdan N. (2009). Hyperspectral imagery for mapping disease infection in oil palm plantation using vegetation indices and red edge techniques. *Am. J. Appl. Sci.* 6 (6) : 1031 – 1035 .
doi:10.3844/ajassp.2009.1031.1035.
- Shafri HZM, Hamdan N, Saripan MI. (2011). Semi-automatic detection and counting of oil palm trees from high spatial resolution airborne imagery. *Int. J. Remote Sens.*

