

Laporan Teknis

**ALGORITME CEDAS UNTUK DETEKSI PENYAKIT *BASAL
STEM ROT* (BSR) DENGAN CITRA MULTISPEKTRAL**

NURVELLY ROSANTI



**TEKNIK INFORMATIKA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JAKARTA
2020**

RINGKASAN

Pengenalan penyakit BSR baik secara definisi, metode pencegahan sangat dibutuhkan oleh perkebunan kelapa sawit dalam membantu menurunkan faktor kerugian disebabkan menurunnya produksi kelapa sawit disebabkan BSR. Selain mendeteksi penyakit BSR pada kelapa sawit dibutuhkan juga prediksi penularan penyakit BSR, faktor apa saja yang mempengaruhi penularan tersebut agar dapat dilakukan pencegahan.

Berbagai penelitian sudah dilakukan baik bidang pertanian, biologi maupun bidang Teknik. Dibutuhkan teknologi dalam membantu penelitian ini disebabkan perkebunan kelapa sawit sangat luas, maka teknologi UAV terpilih menggunakan kamera multispektral.

Bidang ilmu Komputer juga berperan dengan menerapkan *artificial intelligence* dalam membantu mempermudah pengenalan objek penyakit BSR, dalam hal ini algoritme yang digunakan adalah *Convolution Neural Network* (CNN). Untuk pola penularan penyakit BSR dapat menggunakan peta dalam bidang Sistem Informasi Geografis (SIG).

Kata kunci: BSR, CNN, Multispektral, SIG

SUMMARY

The introduction of the BSR service, by definition, is a method of prevention that is needed by oil palm plantations to help reduce the loss factor due to the decline in oil palm production caused by BSR. In addition to detecting BSR disease in oil palm, it is also necessary to predict the transmission of BSR disease, what are the factors that influence transmission in order to be prevented.

Various studies have been conducted in the fields of agriculture, biology and engineering. The technology needed to assist this research is due to the vast oil palm plantations, so the selected UAV technology uses a multispectral camera.

Computer Science also plays a role in using artificial intelligence to help facilitate the recognition of disease objects, in this case the algorithm used is the Convolution Neural Network (CNN). For patterns of transmission of BSR disease, you can use maps in the field of Geographic Information Systems (GIS).

Keywords : BSR, CNN, GIS, Multispectral

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	i
DAFTAR GAMBAR	i
1 <i>BASAL STEM ROT</i> (BSR)	1
Definisi	2
Gejala BSR	2
Penyebaran/Penularan BSR	4
Tinjauan Kritis Penelitian BSR	6
2 ALGORITME CERDAS PADA BSR	14
Definisi	14
Tinjauan Kritis Penelitian Algoritme Cerdas pada BSR	14
3 PENGENALAN PENGINDERAAN JAUH	21
Citra Multispektral	21
Tinjauan Kritis Penelitian multispektral	22
4 KESIMPULAN	25
DAFTAR PUSTAKA	26

DAFTAR TABEL

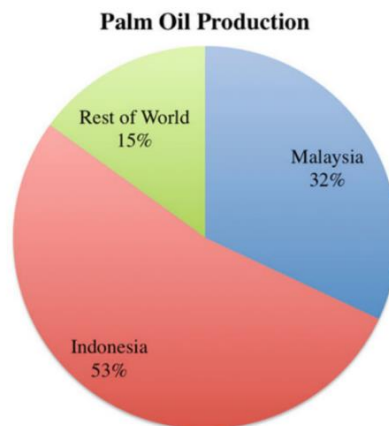
1	Klasifikasi tingkat penyakit BSR berdasarkan gejala	3
2	Klasifikasi penyakit BSR berdasarkan infeksi dan tidak terinfeksi	4
3	Sifat Kimia medium tanam	5
4	Sifat fisika dan biologi medium tanam	5
5	Rangkuman hasil penelitian terkait BSR	7
6	Rangkuman hasil penelitian terkait penyebaran/penularan BSR	10
7	Rangkuman penelitian terkait penerapan algoritme cerdas pada BSR	17
8	Penelitian terkait penelitian multispektral	23

DAFTAR GAMBAR

1	Produsen minyak kelapa sawit dunia	1
2	Contoh <i>basidiocarps</i> menginfeksi kelapa sawit	3
3	Gejala kelapa sawit terinfeksi BSR	3
4	Grafik perkembangan kejadian penyakit BSR pada berbagai medium tanam	5
5	Bidang ilmu penelitian BSR	6
6	Algoritme cerdas pada penelitian BSR	13
7	Jenis data	14
8	Jenis kelas penyakit	14
9	Metode pada penelitian pola penyebaran BSR	15
10	Data spektral dari sampel kelapa sawit sehat dan terserang Ganoderma	21

1 BASAL STEM ROT (BSR)

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi handal Indonesia dibidang pertanian. Indonesia memiliki perkebunan kelapa sawit terluas di dunia, sehingga menjadi penyumbang terbesar ekspor kelapa sawit. Berdasarkan Chong *et al.* (2017) bahwa luas perkebunan kelapa sawit di seluruh dunia lebih dari 14 juta ha dengan wilayah Asia Tenggara mendominasi perkebunan sawit ini. Untuk luas ini produksi minyak kelapa sawit pada tahun 2015 mencapai 62.6 juta ton dimana volume ini Indonesia dan Malaysia sebagai produsen utama seperti pada Gambar 1 bahwa Indonesia menghasilkan 53% produksi minyak kelapa sawit untuk dunia, diikuti oleh Malaysia 32% dan 15% adalah negara lainnya (Chong *et al.* 2017).



Gambar 1 Produsen minyak kelapa sawit dunia (Chong *et al.* 2017)

Berdasarkan laporan KEMENTAN (2019), menyatakan bahwa produksi kelapa sawit meningkat dalam 3 (tiga) tahun terakhir. Berdasarkan data dari 2017 yaitu 14 048 722 ha dengan hasil produksi 37 965 244 ton. Pada tahun 2018 luas perkebunan meningkat menjadi 14 327 093 ha yang diikuti juga dengan kenaikan produksi kelapa sawit menjadi 40 567 230 ton, begitu juga pada tahun 2019 luas perkebunan bertambah menjadi 14 677 560 ha dengan hasil produksi kelapa sawit naik menjadi 42 869 429 ton.

Kerusakan tanaman kelapa sawit dapat disebabkan oleh bencana alam seperti angin kencang dan petir, juga dapat kerusakan tanaman disebabkan oleh penyakit seperti hama Ganoderma. Penyakit pada tanaman kelapa sawit yang disebabkan oleh hama Ganoderma sering disebut *Basal Stem Rot* (BSR). Menurut Ketua Umum Masyarakat Perkelapasawitan Indonesia pada 2 Juli 2019 dalam kegiatan *Roundtable Ganoderma Management* (RGM) di IPB, bahwa luas perkebunan sawit Indonesia yang terserang Ganoderma mencapai 118.000 Ha dengan potensi kerugian puluhan trilyunan rupiah. Pada acara tersebut juga Bapak Dudi Gunadi (Direktur Perlindungan Perkebunan Kementan RI) menambahkan bahwa masalah Ganoderma sudah menjadi perhatian pemerintah karena dapat menurunkan produksi sawit nasional. Berdasarkan data Ditjenbun, luas perkebunan sawit Indonesia yang terserang Ganoderma mencapai 118 ribu ha, maka kerugian yang dihadapi dapat menurunkan produktivitas sawit hingga 40%. Sehubungan dengan sangat pentingnya penanganan BSR ini menjadi perhatian semua pihak berupaya agar dapat menurunkan tingkat kerugian produksi kelapa sawit.

Definisi BSR

Basal Stem Rot (BSR) adalah penyakit berasal dari jamur putih berbau busuk yang disebut *Ganoderma Boninense*. *Ganoderma boninense* adalah jamur polyporoid yang tumbuh pada kayu yang berasal dari Keluarga *Ganodermataceae* dan Kelas *Basidiomycetes*. Penyakit BSR sangat terkait dengan pembusukan batang bawah, maka penyakit ini sering disebut penyakit busuk pangkal batang (Chong *et al.* 2017)

Jenis-jenis spesies *Ganoderma* telah dilaporkan terkait dengan busuk batang basal kelapa sawit diantaranya adalah *G. applanatum*, *G. boninense*, *G. chaliceum*, *G. lucidum*, *G. miniatocinctum*, *G. pseudoferreum* dan *G. tornatum*.

Menurut penelitian Khairudin (1990) berdasarkan morfologi basidiomata dan basidiospore yang dikumpulkan dari kebun kelapa sawit atau diinduksi secara *in vitro*, menyimpulkan bahwa dua spesies yaitu *G. boninense* dan *G. tornatum* adalah penyebab patogen BSR. Berbeda pendapat dengan penelitian Idris (1999) bahwa ditemukan spesies *Ganoderma* yang paling banyak dan ganas di beberapa perkebunan dengan tingkat penyakit BSR yang tinggi yaitu *G. zonatum* dan *G. minia-tocinctum*. Begitu juga dengan penemuan lainnya menyatakan bahwa *G. boninense*, *G. zonatum* dan *G. miniatocinctum* terkait dengan penyakit BSR. Hasil konsensus umum menyatakan bahwa *G. boninense* adalah spesies utama yang bersifat patogen terhadap kelapa sawit (Moncalvo 2000).

Ganoderma boninense dapat tumbuh pada pH 3-8,5 pada suhu optimal 30 ° C, secara kritis terhambat pada 15 dan 35 ° C, dan tidak dapat tumbuh pada 40 ° C.

Gejala Penyakit BSR

Penyakit BSR menyebabkan gejala parah pada pohon kelapa sawit seperti daun tidak dibuka dan perataan daun tombak.

BSR awalnya hanya ditemukan menginfeksi tanaman yang lebih tua, tetapi baru-baru ini telah ditemukan pada bibit dan tanaman muda dengan gejala muncul lebih awal dan lebih parah (Sanderson *et al.* 2005).

Infeksi *G. boninense* berkembang perlahan tanpa gejala, karenanya, membuatnya sulit dikenali pada tahap awal. Namun, ketika infeksi berkembang hingga 60-70%, gejalanya mulai muncul Gejala eksternal basal yang paling awal busuk batang pohon kelapa sawit terjadi di daun kemudian area penampang pangkal batang hancur sehingga kerusakan mengarah terbatas pasokan air dan nutrisi ke seluruh bagian pohon. Akibat dari terbatasnya aliran nutrisi dari akar menyebabkan gejala mirip dengan stres air dan kekurangan gizi.

Pada kelapa sawit muda, gejala eksternal BSR biasanya terdiri dari satu sisi menguning atau bintik pada daun yang lebih rendah dan diikuti oleh nekrosis Singh (1991). Daun muda yang tidak terbuka akan menjadi klorosis dan panjangnya bisa berkurang, terkadang dengan nekrotik di ujungnya.

Gejala serupa juga diamati pada kelapa sawit dewasa yaitu dengan beberapa tombak yang belum terbuka, perataan mahkota, umumnya kanopi daun pucat dan

produksi basidiocarps (Turner 1981). Basidiocarps yang menginfeksi kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2 Contoh basidiocarps menginfeksi kelapa sawit (Turner 1981)

Basidiomata dapat berkembang di pangkal batang, pangkal daun atau akar yang terinfeksi lokasi menyediakan a panduan untuk area penyakit di dalam kelapa sawit (Paterson *et al.* 2007). Dalam kasus yang parah, terpengaruh kelapa sawit akan mati dan jatuh. Infeksi parah oleh *G. boninense* dapat menyebabkan fraktur dasar kelapa sawit dan membuatnya runtuh, meninggalkan jaringan tulang yang sakit di atas tanah. Semua gejala ini dapat terjadi sebagai kombinasi dan tidak ada yang pasti pola atau perkembangan gejala. Gejala penyakit BSR dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Gejala kelapa sawit terinfeksi BSR (Paterson 2007)

Pada Gambar 3.a adalah pohon kelapa sawit rubuh disebabkan jaringan pada batang busuk, pada Gambar 3.b merupakan pohon kelapa sawit yang terinfeksi BSR sudah memiliki basidiocarp, pada Gambar 3.c merupakan gejala juga yaitu tidak terbukanya daun tombak pada kelapa sawit dan 3.d terlihat bahwa terdapat lubang pada pohon kelapa sawit.

Berdasarkan penelitian Lisawita (2016) bahwa gejala yang dapat diamati dari penyakit BSR adalah daun klorosis, penampilan tubuh buah, tanaman yang rubuh, dan adanya lubang pada batang basal (Lisawita *et al.* 2016). Kejadian penyakit BSR lebih tinggi di darat karena kadar pasir yang tinggi (> 50%). Lisawita (2016) juga mengklasifikasi tingkat penyakit BSR berdasarkan gejala seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Klasifikasi tingkat penyakit BSR berdasarkan gejala

Severity Class	Description
0	<i>Healthy looking plants with green leaves without appearance of fungal mycelium on any part of plants</i>
1	<i>Appearance of white fungal mass on any part of plants, with or without chlorotic leaves and unopened spear leaves at the centre.</i>
2	<i>Appearance of basidiomata on any part of plants with chlorotic leaves, skirt-like appearance of the leaves resulting in collapse of the lower leaves.</i>
3	<i>Formation of well-developed basidiocarp and bole creation.</i>
4	<i>Death of the plant and creation of bare land.</i>

(Sumber : Lisnawita *et al.* 2016)

Pada Tabel 1 dijelaskan bahwa kelas 0 adalah kelapa sawit kondisi sehat dengan ciri visual daun hijau terlihat sehat tanpa ada jamur. Kelas ke 1 adalah terlihat jamur putih pada beberapa bagian pohon tanpa daun klorosis dan tanpa daun tombak yang belum terbuka. Kelas ke 2 adalah pohon sudah terinfeksi BSR dengan ciri terlihat basidiomata di beberapa bagian dan daun memiliki klorosis dan beberapa daun terkulai. Kelas ke 3 ciri terinfeksi adalah muncul basidiocarp dan lubang pada pohon, kemudian kelas ke 4 adalah pohon mati dan rubuh.

Berdasarkan penelitian (Hashim *et al.* 2018), penentuan gejala hanya berdasarkan dua kategori yaitu terinfeksi atau tidak terinfeksi. Klasifikasi gejala dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Klasifikasi penyakit BSR berdasarkan infeksi dan tidak terinfeksi

Category	Description
<i>Non Infected</i>	<i>Healthy palm, no foliage symptom (0%), no fruiting body</i>
<i>Infected</i>	<i>Foliage symptom more than 25% produce fruiting bodies</i>

(Sumber : Hashim *et al.* 2018)

Pada Tabel 2 dapat dijelaskan bahwa klasifikasi penyakit BSR berdasarkan 2 kategori yaitu *Non Infected* dengan gejala pohon kelapa sawit sehat dan tidak terlihat gejala BSR pada daun dan tidak ada jamur. Kategori *Infected* memiliki gejala pada daun lebih dari 25% dan terdapat jamur.

Menurut Susanto (2013) gejala utama BSR adalah terhambatnya pertumbuhan, warna daun menjadi hijau pucat dan busuk pada batang tanaman. Pada pohon kelapa sawit yang masih muda, gejala awal ditandai dengan menguningnya tanaman atau daun bagian bawah yang diikuti dengan nekrosis yang menyebar ke seluruh daun. Sedangkan pada pohon kelapa sawit dewasa semua pelepah menjadi pucat, semua daun dan pelepah mengering, dan daun tombak tidak membuka (terjadinya akumulasi daun tombak) (Susanto *et al.* 2013).

Penyebaran/Penularan BSR

Terdapat banyak penyebab infeksi yang terkait dengan penyebaran penyakit dari *G. boninense* di perkebunan kelapa sawit yaitu kontak akar dengan kelapa sawit yang sakit dan melalui basidiospora di udara (Chong *et al.* 2017).

G. boninense adalah patogen yang ditularkan melalui tanah dan ada tiga cara yang memungkinkan jamur ini dapat menyebar langsung ke tanaman inang, kontak akar, basidiospore, dan inokulum sekunder yang ada di tanah.

Inokulum yang ditinggalkan oleh pohon yang mati memungkinkan menyebabkan tingginya kejadian penyakit BSR pada kelapa sawit. Telah terbukti bahwa akar yang kontak dengan puing-puing yang terinfeksi menyebabkan penyebaran BSR di perkebunan.

Penelitian Pilotti dan Sanderson (2005) juga melaporkan basidiospora sebagai penyebaran utama *G. boninense* dan tumbuh di jaringan mati. Basidiocarp dewasa menghasilkan ribuan basidiospora dan menjadi sumber inokulum yang baik untuk infeksi baru yang disebarkan melalui udara melalui tiupan angin. Spora masuk melalui cabang atau bagian yang luka pada pohon kemudian menjadi infeksi baru.

Pada penelitian Susanto (2013) juga melakukan penelitian terhadap laju penyebaran BSR dengan menganalisa sifat fisika, kimia dan biologi dari tanah perkebunan sawit. Sifat fisika meliputi fraksi pasir, debu dan liat sedangkan sifat kimia meliputi pH kandungan C, N, rasio C/N, P dan K. Metode untuk sifat kimia yang dilakukan adalah menggunakan campuran seperti pada Tabel 3 (Susanto *et al.* 2013).

Tabel 3 Sifat kimia medium tanam

Perlakuan	pH	C/N	P(ppm)	K (me/100 g)
A	4.90 agak masam (agak rendah)	3.33 rendah	3.00 rendah	0.20 agak rendah
B	5.06 agak masam (agak rendah)	6.00 agak rendah	3.66 rendah	0.21 agak rendah
C	5.43 agak masam (agak rendah)	5.00 agak rendah	4.00 rendah	0.66 sedang
D	5.60 agak masam (agak rendah)	7.00 agak rendah	6.00 rendah	0.14 rendah
E	7.00 agak basa (agak tinggi)	5.00 agak rendah	10.00 agak rendah	0.80 agak tinggi

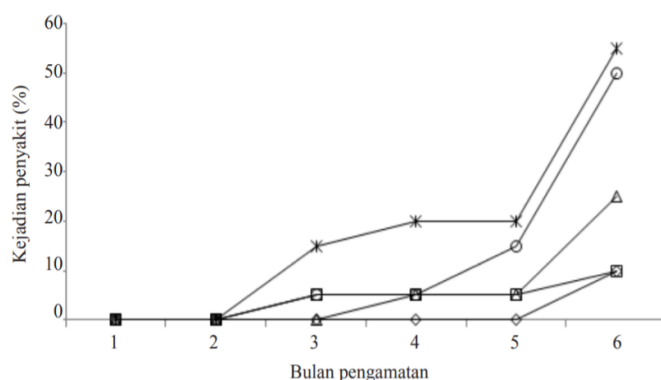
(Sumber : Susanto *et al.* 2013).

Sedangkan metode untuk sifat fisika dan biologi tanah dilakukan seperti Tabel 4.

Tabel 4 Sifat fisika dan biologi medium tanam

Perlakuan	Pasir(%)	Debu(%)	Liat(%)	Tekstur	Populasi cendawan dan bakteri (cfu g ⁻¹ tanah)
A	56.00	12.33	31.33	Lempung liat berpasir	3 x 10 ⁶
B	73.00	8.33	18.66	Lempung berpasir	1 x 10 ⁶
C	83.00	7.66	9.33	Pasir berlempung	<1 x 10 ⁶
D	91.66	2.33	6.00	Pasir	<1 x 10 ⁶
E	99.00	1.00	0.00	Pasir	<1 x 10 ⁶

(Sumber : Susanto *et al.* 2013).



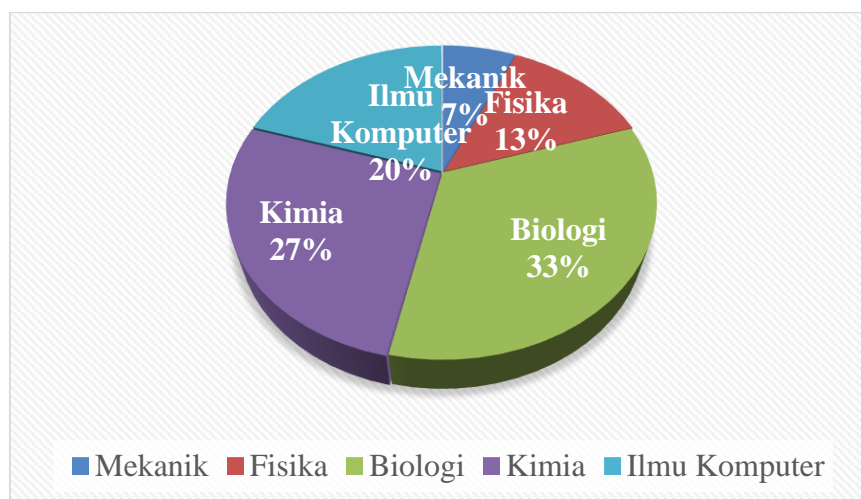
berbagai medium tanam. —◇—, A (Lempung liat berpasir); —□—, B (Lempung berpasir); —△—, C (Pasir berlempung); —*—, D (Pasir); —○—, E (Pasir).

Gambar 4 Grafik perkembangan kejadian penyakit BSR pada berbagai medium tanam (Susanto *et al.* 2013).

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa faktor tanah dapat menjadi cepatnya penularan BSR yaitu tanah berpasir menjadi media yang paling cepat penularan BSR sedangkan tanah lempung liat berpasir dapat menghambat penularan BSR.

Tinjauan Kritis Penelitian BSR

Penelitian dibidang BSR berasal dari berbagai ilmu yaitu bidang fisika seperti penelitian (Susanto *et al.* 2013; Lisnawita *et al.* 2016), kimia (Susanto *et al.* 2013 ; Utomo *et al.* 2000; Nasution *et al.* 2016) , biologi (Susanto *et al.* 2005) , Mekanik (Chong *et al.* 2017) dan Ilmu Komputer (Hashim *et al.*, 2018). Sebaran penelitian berbagai bidang ilmu ini dapat dilihat pada Gambar 5 dengan bidang penelitian yang paling banyak dibidang biologi.



Gambar 5 Bidang ilmu penelitian BSR

Penelitian dibidang ilmu fisika meneliti tentang sifat tanah yaitu jenis tanah apa yang mempengaruhi penularan hama Ganoderma, bidang kimia lebih fokus pada sifat kimia tanah meliputi unsur hara, pH, kandungan C, N, rasio C/N, P, dan K terhadap penyakit BSR, bidang biologi lebih memunculkan sifat patogen dan bio kontrol agen

dalam penanganan penyakit BSR, bidang ilmu komputer juga berperan dalam penelitian BSR dengan menggunakan perangkat dan pengolahan data menggunakan algoritme cerdas.

Penelitian yang sudah ada ini lebih mengidentifikasi penyakit BSR dengan mengontrol tanaman kelapa sawit satu per satu sedangkan luas perkebunan sawit mencapai ratusan hektar dengan ratusan bahkan ribuan pohon kelapa sawit sehingga menimbulkan kesulitan dalam mengidentifikasi penyakit. Untuk itu dibutuhkan suatu teknologi untuk mempermudah mengidentifikasi penyakit BSR secara luas, cepat dan akurat.

Penelitian-penelitian terkait BSR baik secara teoritis maupun teknis tentang penyakit, metode penanganan dan upaya menemukan metode penyembuhan dapat dilihat pada Tabel 5 dan penelitian terkait pola penyebaran penyakit BSR dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5 Rangkuman hasil penelitian terkait BSR

Judul Referensi	Peneliti	Metode	Hasil
Detection and Control of Ganoderma Boninense in Oil Palm Crop	(Chong <i>et al.</i> 2017)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Metode-metode deteksi terkini dari <i>G. boninense</i> ▪ Metode kontrol dari Pathogen melalui praktik budaya, kontrol kimia, pengembangan penyakit Resistensi, kontrol biologis dan kombinasi agen biokontrol 	Buku tentang metode deteksi dan manajemen yang cocok untuk penyakit BSR di kelapa sawit serta mencakup strategi deteksi dan manajemen Ganoderma dari kumpulan hasil penelitian.
Fundamental of Plant Pathology	(Brown 1950)		Ilmu tentang penyakit pada tumbuhan yang disebabkan oleh infeksi organisme salah satunya tentang Fungi. Definisi Fungi, jenis-jenis fungi, metode hidup dan kembangbiaknya.
Laju infeksi Ganoderma pada Empat Kelas Tekstur Tanah	(Susanto <i>et al.</i> 2013)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lima medium tanam campuran antara tanah mineral (M) dan pasir (P). ▪ Analisis sifat fisika, kimia, dan biologinya ▪ Sifat fisika meliputi fraksi pasir, debu, dan liat ▪ Sifat kimia meliputi pH, kandungan C, N, rasio C/N, P, dan K. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perkembangan penyakit busuk pangkal batang di tanah gambut

Tabel 5 Rangkuman hasil penelitian terkait BSR

Judul Referensi	Peneliti	Metode	Hasil
Development of diagnostic methods for detecting ganoderma infected oil palm	(Utomo <i>et al.</i> 2000)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menggunakan 2 pendekatan yaitu polyclonal antibodies (PAbs) dan campuran 9 isolat Ganoderma yang berbeda. ▪ PAbs dapat mendeteksi Ganoderma pada jaringan akar kelapa sawit yang sakit dengan cara tidak langsung menggunakan ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay) 	<p>Kedua PAbs dapat mendeteksi Ganoderma dalam jaringan akar kelapa sawit yang sakit dengan menerapkan uji immunosorben terkait enzim yang tidak langsung. Reaksi silang rendah diamati dengan lima jamur saprofitik yang dapat diisolasi dari kelapa sawit yang sakit dan digunakan sebagai kontrol negatif.</p> <p>Pendekatan lain didasarkan pada reaksi berantai polimerase (PCR) untuk meningkatkan sensitivitas deteksi Ganoderma. Primer dihasilkan dari daerah transkripsi internal 1 rDNA Ganoderma boninense dan menghasilkan produk PCR dengan ukuran 167 bp. Isolat jamur dan sampel akar kelapa sawit diproses untuk PCR dengan tiga metode ekstraksi DNA yang berbeda. Prosedur ekstraksi yang paling cocok adalah metode ekstraksi alkali sederhana. Untuk pendekatan praktis, semiquantification dilakukan dengan menilai batas sensitivitas PCR dari kultur murni Ganoderma dan alami. sampel akar yang terinfeksi.</p>
Survey of Basal Stem Rot Disease on Oil Palms (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) in Kebun Bukit Kijang, North Sumatera, Indonesia	(Lisawita <i>et al.</i> , 2016b)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penentuan lokasi pengambilan sampel 2. Pengamatan pohon yang terdapat penyakit BSR berdasarkan skala tingkat penyakit 0-4 3. Karakteristik tanah 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Survey di perkebunan masyarakat di Sumatera Utara, Medan, Indonesia insiden penyakit BSR tinggi (0,71-50%). ▪ Insiden penyakit busuk batang basal lebih tinggi di darat karena kandungan pasir yang tinggi (> 50%)

Tabel 5 Rangkuman hasil penelitian terkait BSR

Judul Referensi	Peneliti	Metode	Hasil
Classification for non infected and infected ganoderma boninense of oil palm trees using ALOS PALSAR-2 backscattering coefficient	(Hashim <i>et al.</i> 2018)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Studi lapangan menentukan jumlah tanaman yg sehat dan sakit 2. Deskripsi dataset PALSAR ALOS 2 dengan dual polarisasi HH dan HV 3. Data survey lapangan : sensus G. boninense yang tidak terinfeksi dan terinfeksi berdasarkan gejala. 4. Pemrosesan citra <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aplikasi SNAP ▪ ArcGIS Spatial Analyst – Extraction ▪ Decision Tree ▪ confusion matriks 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dari hasil klasifikasi, ditemukan bahwa klasifikasi backscatter HV lebih baik untuk membedakan Ganoderma yang tidak terinfeksi dan terinfeksi di perkebunan kelapa sawit dengan akurasi keseluruhan untuk HV backscatter 56,52%. ▪ Namun, studi Ganoderma untuk memetakan masing-masing pohon masih kurang di bidang SAR. Studi ini hanya berfokus pada hamburan balik dan sensus kelapa sawit; dengan demikian, ruang lingkup studi terbatas pada bidang-bidang tersebut. Studi lebih lanjut harus menyelidiki berbagai variabel dan parameter seperti, kadar air, biomassa
Enhancing biological control of basal stem rot disease (Ganoderma boninense) in oil palm plantations	(Susanto <i>et al.</i> 2005)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Koleksi kandidat jamur dan bakteri agen biocontrol 2. Penghambatan efektivitas kandidat biocontrol agen 3. Khasiat agen biokontrol dalam uji coba rumah kaca 	<p>Penelitian ini telah mengisolasi 30 kandidat biokontrol</p> <p>agen yang terdiri dari 17 isolat <i>T. harzianum</i>, 4 isolat <i>G. viride</i>, 5 isolat <i>T. viride</i>, satu isolat <i>Bacillus sp.</i>, dan 3 isolat fluoresen <i>Pseudomonas</i>. Setelah 1 tahun inokulasi, <i>T. harzianum</i> dan <i>G. viride</i> muncul untuk mencegah Basal Stem Root dalam percobaan rumah kaca, sedangkan, <i>Bacillus sp.</i> memiliki kapasitas yang sangat kecil untuk mencegah infeksi oleh <i>G. boninense</i>.</p>

Tabel 5 Rangkuman hasil penelitian terkait BSR

Judul Referensi	Peneliti	Metode	Hasil
Survey dan Pemetaan Status Hara K dan C-Organik Pada Lahan Kelapa Sawit yang Terserang Ganoderma di PT. PD PATI Kabupaten Aceh Tamiang	(Nasution & Supriadi, 2016)	<p>Alat dan Bahan</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Peta dan GPS dengan luas daerah 1 : 1000 2. Bahan Kimia <p>Metode</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Survey 2. Pengambilan sampel menggunakan Purposive sampling 3. K menggunakan metode K₂O ekstrak HCl 25% 4. C-organik dengan menggunakan metode Walkley and Black 5. Pengolahan data menggunakan SPSS 	Intensitas penyakit busuk pangkal batang berkolerasi positif dengan kalium. Kadar K tanah menjelaskan pengaruhnya terhadap intensitas penyakit busuk pangkal batang (<i>Ganoderma</i> sp.) sebesar 16.8%.

Tabel 6 Rangkuman hasil penelitian terkait penyebaran/penularan BSR

Referensi	Peneliti	Tujuan	Jenis Data	Metode	Hasil
Distribution of infected oil palms with Ganoderma basal stems root disease	(Kamu <i>et al.</i> 2015)	Mengidentifikasi secara spasial pola penyakit Ganoderma di bawah epidemi lapangan alami menggunakan tiga analisis pola titik spasial yang berbeda	Spasial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ripley's K function ▪ Refined Nearest-neighbor analysis 	Membuktikan bahwa distribusi spasial pohon kelapa sawit yang terinfeksi tidak acak, tersebar atau seragam tetapi lebih ke pola cluster. Ini menunjukkan bahwa penyebaran penyakit dapat dari pohon ke pohon mungkin melalui kontak akar
Ganoderma steyaertanum as a root-rot pathogen of forest trees	(Hidayati <i>et al.</i> 2014)	menyelidiki lebih lanjut identitas dan patogenisitas agen penyebab dominan putatif, untuk melacak sumber kematian dari waktu ke waktu dan menentukan mode penyebaran patogen	Spasial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Somatic incompatibility tests ▪ Spatial analysis ▪ Software SADIE 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analisis spasial menunjukkan bahwa, setelah distribusi penyakit yang awalnya acak, kemudian pola kematian pohon berkelompok. ▪ Konsisten dengan kolonisasi spora dari tunggul-tunggul yang tipis diikuti oleh penyebaran vegetatif melalui kontak akar ke akar
Evaluation of spatio-temporal Bayesian models for the spread of infectious diseases in oil palm	(Denis <i>et al.</i> 2018)	Untuk memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang proses yang mendorong infeksi, untuk mengidentifikasi area yang ditandai dengan risiko relatif tinggi atau rendah dan untuk memprediksi infeksi baru	Spasial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hierarchical model : Bayesian modeling approaches dan model selection criteria. ▪ Multivariate dynamic model ▪ B-spline model ▪ Model-fit criteria 	Menghasilkan model statistik yang dapat mensimulasikan penyebaran penyakit menular dengan sedikit pengetahuan dan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang proses infeksi yang mendasarinya

Tabel 6 Rangkuman hasil penelitian terkait penyebaran/penularan BSR

Referensi	Peneliti	Tujuan	Jenis Data	Metode	Hasil
Spatial statistical analysis of basal stem root disease under natural field epidemic of oil palm	(Kamu, Phin, <i>et al.</i> 2015)	untuk mengidentifikasi secara spasial pola penyakit BSR di bawah epidemi lapangan alami menggunakan dua teknik analitis geospasial	Spasial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Quadrat analysis ▪ Nearest-neighbor analysis (NNA) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Infeksi penyakit BSR menunjukkan keacakan spasial dengan epidemi alami bahkan setelah mempertimbangkan usia. ▪ ada banyak faktor seperti uji statistik spasial yang berbeda, ukuran dan bentuk kuadrat, kepadatan penanaman, topografi serta faktor manajemen perlu dipertimbangkan untuk mengkonfirmasi pola spasial penyakit BSR.
Occurrence and spatial distribution of Ganoderma species causing upper and basal stem rot in oil palm	(Rakib <i>et al.</i> 2014)	Menyelidiki terjadinya penyakit USB dan BSR yang disebabkan oleh Ganoderma dan distribusi spasial menggunakan alat geostatistik di perkebunan kelapa sawit.	Spasial	Geostatistics analysis	Ketergantungan spasial yang lemah untuk semua data yang dianalisis dan infeksi relatif pada jarak yang lebih dekat (kejadian lebih padat) di Miri dibandingkan dengan di Betong. Ketergantungan spasial yang lemah menunjukkan bahwa USB dan BSR terjadi secara acak, yang menunjukkan bahwa penyakit USB dan BSR menyebar mungkin melalui penyebaran basidiospore pada jarak yang lebih besar, daripada infeksi dari akar ke akar.

2 ALGORITME CERDAS PADA BASAL STEM ROT (BSR)

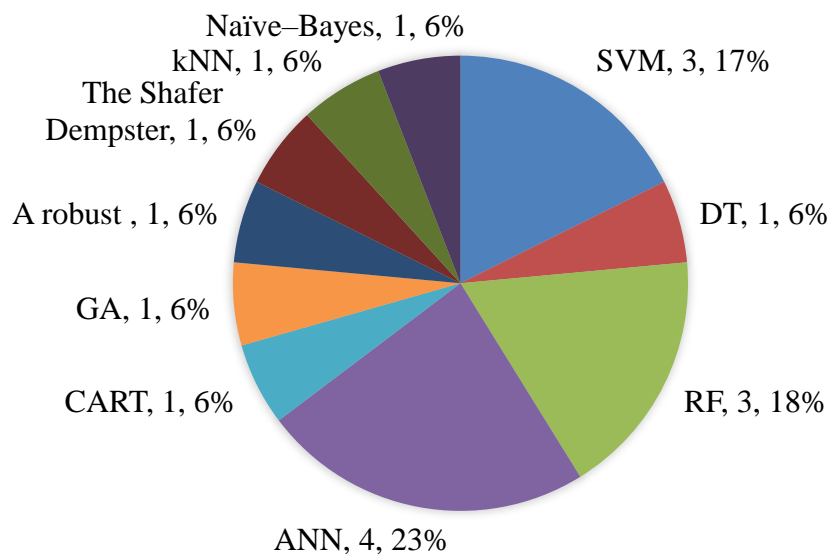
Penelitian terkait BSR pada bidang ilmu komputer lebih mengacu kepada penggunaan alat dan algoritme cerdas dalam mengolah data. Hasil yang diperoleh dari beberapa penelitian juga menunjukkan hasil dengan akurasi yang tinggi.

Definisi

Algoritme cerdas adalah algoritme yang menerapkan kecerdasan buatan atau *artificial intelligence* dalam sebuah sistem. Terdapat beberapa metode algoritme cerdas yang digunakan dalam berbagai pemecahan masalah seperti sistem *Fuzzy*, Jaringan Syaraf Tiruan, Optimasi dan *Probabilistic Reasoning*. Pada penelitian BSR ini juga ditemukan penerapan algoritme cerdas dalam penyelesaian permasalahan BSR seperti penggunaan algoritme *Artificial Neural Network (ANN)*, *Genetic Algorithm (GA)* dan sebagainya, hal ini dapat dilihat pada Gambar 6

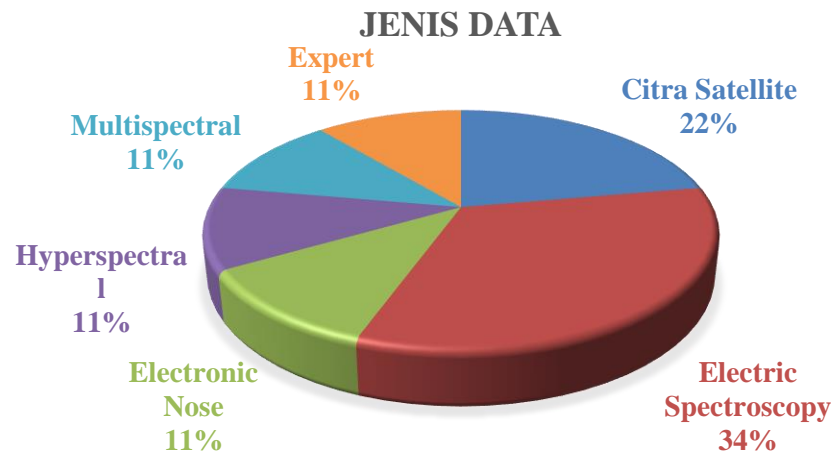
Tinjauan Kritis Algoritme Cerdas Pada BSR

Algoritme yang digunakan dalam beberapa penelitian BSR dapat ditinjau dari segi jenis algoritme, jenis data berdasarkan alat dan jenis bentuk data. Berdasarkan jenis algoritme dapat dilihat pada Gambar 6.



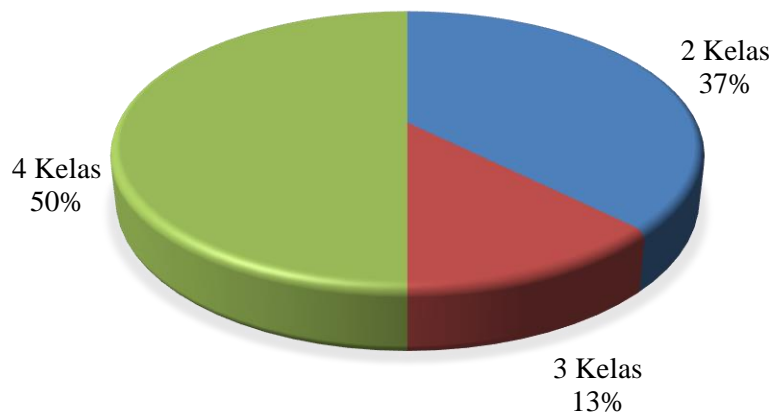
Gambar 6 Algoritme Cerdas Pada Penelitian BSR

Algoritme yang banyak digunakan adalah *Artificial Neural Network (ANN)*, *Random Forest (RF)* dan *Support Vector Machine (SVM)* sedangkan untuk jenis data yang digunakan untuk pengolahan data adalah *electric spectroscopy*, citra satelit dan selebihnya berupa data spektral, sensor dan *expert*. Jenis data yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 7.



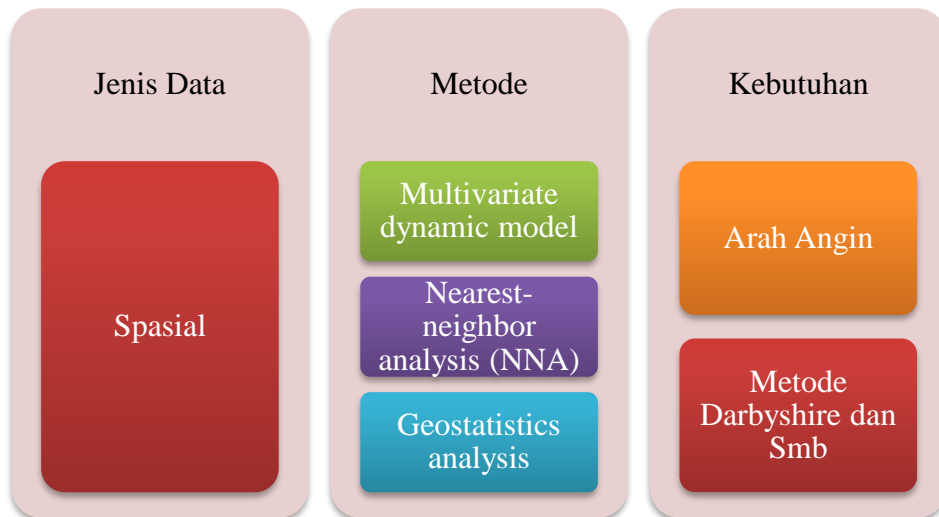
Gambar 7 Jenis Data

Selain algoritme dan jenis data pengolahan hal yang menjadi menarik dari beberapa penelitian identifikasi penyakit BSR tersebut adalah jenis kelas penyakit yang beragam yaitu terdiri dari dua kelas (*Healthy dan Unhealthy*), tiga kelas (*Healthy, mild, severe*) dan empat kelas (*Healthy, Mild, moderate, severe*). Penelitian berdasarkan jenis kelas yang banyak dilakukan adalah dengan empat kelas, hal ini dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Jenis kelas penyakit

Pada pola penyebaran penyakit BSR dapat disimpulkan bahwa penelitian menggunakan data spasial hal ini disebabkan lebih mudah melihat penyebaran penyakit menggunakan peta. Metode yang banyak digunakan adalah metode yang hanya melihat penyebaran dari satu aspek saja yaitu kedekatan tanaman hal ini dapat dilihat penggunaan metode *nearest neighbor analysis* (NNA). Sedangkan hasil dari berbagai penelitian BSR banyak menyatakan penyebaran penyakit BSR disebabkan salah satu faktornya adalah spora yang dibawa oleh angin. Belum adanya penelitian penyebaran penyakit BSR dari faktor angin maka menjadi sebuah peluang dalam penelitian berikutnya. Jenis data dan metode pada penelitian penyebaran penyakit BSR dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Metode pada penelitian pola penyebaran BSR

Beberapa hasil penelitian tentang penerapan algoritme pada BSR telah dirangkum pada Tabel 7.

Tabel 7 Rangkuman penelitian terkait penerapan algoritme cerdas pada BSR

Judul Referensi	Peneliti	Tujuan	Alat dan Bahan	Metode	Hasil
Random Forest classification model of basal stem rot disease caused by <i>Ganoderma boninense</i> in oil palm plantations	(Santoso <i>et al.</i> 2017)	Evaluasi potensi model machine learning untuk memprediksi penyakit BSR di kelapa sawit dan menghasilkan peta distribusi penyakit BSR.	<ul style="list-style-type: none"> • Lokasi : Perkebunan kelapa sawit di Sumatera Utara. • Data : Pohon sawit dengan kondisi Healthy dan Unhealthy • QuickBird data archived. • Software : R Studio, ArcGIS 10.2.2 	Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF), and classification and regression tree (CART). Evaluasi model : confusion matrix Pengukuran kinerja model classifier : KAPPA	Akurasi SVM = 77%, RF = 91% dan CART = 80%
Classifying the severity of basal stem rot disease in oil palm plantations using WorldView-3 imagery and machine learning algorithms	(Santoso <i>et al.</i> 2019)	Memprediksi tingkat penyakit menggunakan citra WorldView-3 dengan algoritme <i>supervised learning</i> dan menggambarkan karakteristik gejala penyakit BSR	<ul style="list-style-type: none"> • Lokasi : Perkebunan kelapa sawit di Sumatera Utara. • Data : Pohon sawit dengan kondisi H (Healthy), UH1 (Initially), UH2 (moderately), UH3 (Severely) • Citra WorldView-3 • Software : R 	Decision Tree (DT), Random Forest (RF), Support Vektor Machine (SVM). Pengukuran Kinerja : confusion matrix. quantity disagreement (QD), allocation disagreement (AD), kappa coefficient (κ)	Akurasi : DT = 53.3, RF = 53.1, SVM = 54.1

Tabel 7 Rangkuman penelitian terkait penerapan algoritme cerdas pada BSR

Judul Referensi	Peneliti	Tujuan	Alat dan Bahan	Metode	Hasil
Spectral features selection and classification of oil palm leaves infected by Basal stem rot (BSR) disease using dielectric spectroscopy	(Khaled <i>et al.</i> 2018)	Menyelidiki kelayakan memanfaatkan sifat listrik seperti impedansi, kapasitansi, konstanta dielektrik, dan faktor disipasi dalam deteksi dini penyakit BSR	<ul style="list-style-type: none"> • Data : Daun kelapa sawit dengan kondisi G0 (healthy), G1 (mild), G2 (moderate), G3 (severe) • Electrical spectroscopy • Software : Matlab 	Genetic algorithm (GA), random forest (RF), support vector machine-feature selection (SVM-FS). Evaluasi features (classifier): support vector machine (SVM) dan artificial neural networks (ANN)	Akurasi : SVM-FS 88.64% dengan classifier SVM
Intelligent electronic nose system for basal stem rot disease detection	(Markom <i>et al.</i> 2009)	Pemanfaatan Electronic Nose dengan menggabungkan kecerdasan buatan untuk mendeteksi penyakit tanaman, khususnya penyakit busuk batang basal (BSR)	<ul style="list-style-type: none"> • Lokasi : Perak, Malaysia. • Electronic Nose • Cyranose 320 (C-320). • Data : Pohon kelapa sawit Healthy dan Infected. 	Artificial Neural Networks (ANN)	Akurasi ANN 100%
Evaluation of oil-palm fungal disease infestation with canopy hyperspectral reflectance data	(Lelong <i>et al.</i> 2010)	Evaluasi potensi reflektansi data hiperspektral untuk membantu mendeteksi penyakit Ganoderma secara efisien tanpa kerusakan jaringan tanaman.	<ul style="list-style-type: none"> • Data : Kanopi Daun kelapa sawit dengan kondisi Level 1, Level 2 dan Level 3 • Hyperspectral 	A robust algorithm	Akurasi 94%

Tabel 7 Rangkuman penelitian terkait penerapan algoritme cerdas pada BSR

Judul Referensi	Peneliti	Tujuan	Alat dan Bahan	Metode	Hasil
Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Kelapa Sawit Menggunakan Metode Dempster Shafer Berbasis Web	(Muslim 2015)	Menggunakan sistem pakar untuk mendeteksi penyakit ganoderma pada kelapa sawit	<ul style="list-style-type: none"> Daun kelapa sawit berbagai kondisi 	The Shafer Dempster	Akurasi : 80.9%
Early Detection of Ganoderma Basal Stem Rot of Oil Palms Using Artificial Neural Network Spectral Analysis	(Ahmadi <i>et al.</i> 2017)	Mendeteksi dini serangan Ganoderma melalui gejala pada kelapa sawit	Lokasi : Melaka, Malaysia. Data : daun kelapa sawit dengan kondisi T1 (Healthy), T2 (Mild), T3 (Moderate) dan T4 (Severe) Alat : Spectroscopy dan Image	Artificial Neural Networks (ANN)	Akurasi :100 % hanya untuk T1 dan T2
Early detection of BSR Disease (Ganoderma) in oil Palms based on hyperspectral reflectance data using pattern recognition algorithms	(Liaghat <i>et al.</i> 2014)	Mengembangkan prosedur untuk deteksi dini, akurasi dan diferensiasi penyakit Ganoderma dengan tingkat keparahan yang berbeda berdasarkan analisis spektral dan model statistik.	<ul style="list-style-type: none"> Spectroscopy Data : daun kelapa sawit dengan kondisi G0 (healthy), G1 (slightly), G2 (moderately), G3 (heavily) 	Principal component analysis (PCA). Classification models: linear and quadratic discrimination analysis, knearest neighbour (kNN), and Naïve-Bayes	Akurasi : kNN = 97%

Tabel 7 Rangkuman penelitian terkait penerapan algoritme cerdas pada BSR

Judul Referensi	Peneliti	Tujuan	Alat dan Bahan	Metode	Hasil
Identifikasi Ganoderma pada Tanaman Kelapa Sawit Berbasis Citra	(Solahudin & Fenry, 2019)	Evaluasi serangan Ganoderma dengan menggunakan kamera multispektral, menerapkan metode jaringan syaraf tiruan untuk menganalisa <i>Citra Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI), dan menganalisis pengaruh ketinggian terhadap akurasi kinerja kamera multispektral	Data : Pohon kelapa sawit yang sehat dan sakit pada ketinggian 50 m, 60 m dan 70 m Alat : kamera multispektral dan Drone	Jaringan Saraf Tiruan (JST) / ANN	Akurasi ANN = 100%

3 PENGENALAN PENGINDERAAN JAUH

Penginderaan jauh berasal dari kata *Remote sensing* memiliki pengertian bahwa Penginderaan jauh merupakan suatu ilmu dan seni untuk memperoleh data dan informasi dari suatu objek dipermukaan bumi dengan menggunakan alat yang tidak berhubungan langsung dengan objek yang dikajinya (Sutanto 1999).

Alat yang dimaksud adalah alat perekam yang tidak berhubungan langsung dengan objek yang dikajinya yaitu ; alat tersebut pada waktu perekaman tidak ada di permukaan bumi, tetapi di udara atau di angkasa. Dalam perekaman tersebut menggunakan wahana (*platform*) seperti satelit, pesawat udara, balon udara dan sebagainya.

Perekaman objek dapat dilakukan, karena tenaga dalam bentuk tenaga elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari kesegala arah terutama ke permukaan bumi, tenaga tersebut dipantulkan dan dipancarkan oleh permukaan bumi. Tenaga pantulan dan pancaran tersebut direkam oleh alat yang disimpan oleh wahana. Karena itu untuk memperoleh data penginderaan jauh tersebut diperlukan komponen-komponen penginderaan jauh diantaranya ; tenaga, objek, sensor, detector dan wahana. Komponen tersebut saling mendukung dalam perekaman objek, karena setiap komponen harus saling berinteraksi. Akibat adanya interaksi tenaga dengan objek, tenaga tersebut dipantulkan dan direkam oleh alat. Data hasil perekaman tersebut menghasilkan 2 jenis data yaitu; (1) data visual (citra) dan (2) data citra (numerik).

Data visual merupakan gambar dari objek yang direkam yang disebut dengan "citra". Menurut Sutanto (1999), Hornby menyatakan bahwa citra adalah gambaran yang tampak pada cermin atau melalui lensa kamera. Sedangkan Simonett mengemukakan bahwa citra adalah gambaran suatu objek biasanya berupa gambaran objek pada foto yang dihasilkan dengan cara optik, elektro-optik, optik mekanik atau elektronik (Sutanto 1999).

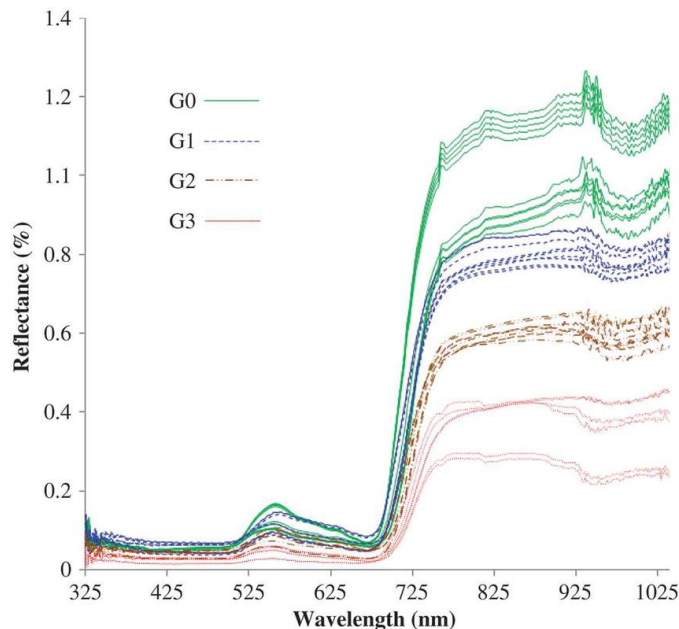
Pengambilan data spasial dilapangan dapat menggunakan metode *ground base* dan juga metode penginderaan jauh. Metode *ground based* yaitu metode pengambilan data secara langsung dilapangan. Pengukuran dilakukan secara langsung melalui kegiatan survey lapangan. Metode penginderaan jauh (*Remote Sensing*) yaitu merupakan pengukuran dan pengambilan data spasial berdasarkan perekaman sensor pada perangkat kamera udara, *scanner*, atau radar. Contoh hasil perekaman adalah citra .

Data penginderaan jauh berdasarkan jenis produk datanya dapat dibagi menjadi dua yaitu citra foto dan citra non foto. Citra foto dihasilkan oleh alat perekam kamera dengan detektor berupa film, dengan mekanisme perekaman serentak, biasanya direkam dalam spektrum tampak atau perluasannya. Citra non foto dihasilkan oleh sensor non kamera berdasarkan pada kamera yang detektornya bukan film, proses perekamannya parsial dan direkam secara elektronik.

Citra Multispektral

Setiap tipe-tipe penggunaan lahan di permukaan bumi memiliki karakteristik reflektansi spektral yang dapat dideteksi. Radiasi yang terdeteksi umumnya berupa refleksi cahaya (energi) matahari, panas yang dipancarkan oleh setiap obyek yang mempunyai suhu lebih besar dari 0 K, dan refleksi gelombang mikro (Rao *et al.* 2019). Perbedaan sifat reflektansi antara tanaman sehat dengan tanaman yang mengalami stress dapat dilihat pada gelombang near infrared. Lapisan tanaman yang sehat menghasilkan

reflektansi near infrared yang tinggi. Sedangkan saat lapisan tersebut mengalami stress, reflektansi yang dihasilkan semakin rendah. Skema reflektansi dapat dilihat pada Gambar 10. Menurut Liaghat (2014), pohon kelapa sawit yang sehat dan yang terserang BSR dapat dilihat perbedaannya dengan membandingkan persentase pantulan spektral dan panjang gelombangnya. Grafik perbandingan pantulan spectral dari setiap kelas stadium BSR dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Data spektral dari sampel kelapa sawit sehat dan terserang Ganoderma (Liaghat *et al.* 2014).

Klasifikasi Multispektral merupakan sebuah algoritme yang digunakan untuk memperoleh informasi tematik dengan cara mengelompokkan suatu fenomena/objek berdasarkan kriteria tertentu. Asumsi awal yang harus diperhatikan sebelum melakukan klasifikasi multispektral adalah bahwa tiap obyek dapat dikenali dan dibedakan berdasarkan nilai spektralnya. Salah satu contoh hasil klasifikasi multispektral adalah peta penutup lahan yang memberikan informasi mengenai jenis penutup lahan (vegetasi kerapatan tinggi yang berasosiasi dengan hutan, semak belukar, tubuh air, vegetasi kerapatan rendah, lahan terbangun dan lainnya). Metode klasifikasi terbagi menjadi dua yaitu klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised classification*) dan klasifikasi terbimbing (*supervised classification*).

Tinjauan Kritis Penelitian Terkait Citra Multispektral

Penelitian mengenai citra multispektral banyak dimanfaatkan untuk data satelit seperti pada penelitian Khaled (2018), tapi berkembangnya penelitian citra multispektral sudah banyak dimanfaatkan untuk data foto atau gambar seperti pada penelitian Guan (2019). Tidak kalah menariknya bahwa pengambilan data citra multispektral ini juga dapat menggunakan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) seperti pada penelitian Senthilnat (2016). Terdapat beberapa tinjauan penelitian tentang citra multispektral dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Penelitian terkait penelitian multispektral

Judul Referensi	Peneliti	Objek	Jenis Algoritme	Method/Clasifier	Hasil
Spectral Feature Selection And Classification Of Oil Palm Leaves Infected By Basal Stem Rot (Bsr) Disease Using Dielectric Spectroscopy	(Khaled <i>et al.</i> 2018)	Kelapa Sawit	<i>Support Vector Machine-Feature Selection</i> (SVM-FS), <i>Random Forest</i> (RF), dan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	SVM dan ANN	Kinerja SVM-FS lebih baik dengan akurasi sebesar 74,77%
Fusion of multispectral data through illumination-aware deep neural networks for pedestrian detection	(Guan <i>et al.</i> 2019)	Pendestrian	<i>Deep convolutional neural networks</i>	RPN	
Algorithms for semantic segmentation of multispectral remote sensing imagery using deep learning	(Kemker <i>et al.</i> 2018)	Dataset RIT-18	<i>Deep convolutional neural networks</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fully convolutional semantic segmentation algorithms. : Sharpmask model, RefineNet model, ▪ FCN models.: k-nearest neighbor (kNN), linear support vector machine (SVM), and multi-layer perceptron (MLP) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fitur yang dipelajari dari data sintetis berhasil ditransfer ke citra dunia nyata dan mencegah model RefineNet-Sim kami overfitting selama pelatihan. ▪ RefineNet model lebih baik hasilnya daripada sharpmask model.

Tabel 8 Penelitian terkait penelitian multispektral

Judul Referensi	Peneliti	Objek	Jenis Algoritme	Method/Clasifier	Hasil
Detection of tomatoes using spectral-spatial methods in remotely sensed RGB images captured by UAV	(Senthilnath et al., 2016)	Tanaman tomat	Bayesian Information Criteria (BIC)	K-means, Expectation Maximisation (EM), Self Organising map (SOM)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hasil Observasi Menghasilkan Performa Metode Expectation Maximisation (Em) Lebih Baik Dari Pada Metode K-Means Dan Som. ▪ Dapat Menghitung Jumlah Tomat Sebagai Prediksi Hasil Panen.
Pedestrian detection with unsupervised multispectral feature learning using deep neural networks	(Cao <i>et al.</i> 2019)	Pedestrian			
Use of a multispectral UAV photogrammetry for detection and tracking of forest disturbance dynamics	(Minařík dan Langhammer 2016)	hutan			
Fully Convolutional Region Proposal Networks for Multispectral Person Detection	(Konig <i>et al.</i> 2017)	Manusia	<i>Region Proposal Network (RPN)</i>	<i>Boosted Decision Trees</i>	<p>klasifikasi berbasis spektral dalam penyaringan cepat BSR di kelapa sawit.</p> <p>Dengan tingkat kesalahan rata-rata sebesar 29,83% pada set uji wajar dari Patokan Deteksi Pejalan Kaki Multispektral KAIST.</p>

4 KESIMPULAN

Permasalahan Basal Stem Rot (BSR) dapat dipandang dari sisi identifikasi penyakit dan sisi pola penyebaran penyakit. Untuk identifikasi penyakit BSR sudah dilakukan oleh beberapa penelitian menggunakan algoritme cerdas dengan hasil penggunaan algoritme yang sering digunakan adalah algoritme *Artificial Neural Network* (ANN) dengan hasil akurasi 100%. Walaupun memiliki akurasi yang maksimum terdapat kelemahan dari penelitian ini yaitu dari segi alat yang digunakan dan kelas tingkat penyakit yang digunakan sehingga dapat ditemukan potensi penelitian lanjutan yaitu berdasarkan metode, kelas penyakit dan alat dalam pengambilan data.

Untuk pola penyebaran penyakit beberapa penelitian terkait menggunakan sistem informasi geografis dengan menggunakan data spasial dan luaran berupa peta. Variabel yang digunakan hanya berdasarkan kedekatan jarak tanaman yang terinfeksi, untuk itu dapat dilakukan penelitian selanjutnya berdasarkan empat variabel yaitu faktor angin, faktor topografi, faktor kedekatan tanaman dan faktor jalan kebun.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, P., Muharam, F. M., Ahmad, K., Mansor, S., & Seman, I. A. (2017). Early detection of ganoderma basal stem rot of oil palms using artificial neural network spectral analysis. *Plant Disease*, *101*(6), 1009–1016. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-16-1699-RE>
- Albawi, S., Mohammed, T. A., & Al-Zawi, S. (2018). Understanding of a convolutional neural network. *Proceedings of 2017 International Conference on Engineering and Technology, ICET 2017, 2018-Janua*(August), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICEngTechnol.2017.8308186>
- Alom, M. Z., Taha, T. M., Yakopcic, C., Westberg, S., Sidike, P., Nasrin, M. S., ... Asari, V. K. (2019). A state-of-the-art survey on deep learning theory and architectures. *Electronics (Switzerland)*, *8*(3), 1–67. <https://doi.org/10.3390/electronics8030292>
- Blot, M., Cord, M., & Thome, N. (n.d.). *MAX-MIN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR IMAGE CLASSIFICATION* Michael Blot, Matthieu Cord, Nicolas Thome Sorbonne Universit´es, UPMC Univ Paris 06, CNRS, LIP6 UMR 7606, 4 place Jussieu 75005 Paris.
- Brown, W. (1950). Fundamentals of plant pathology. *Nature*, *166*(4229), 840–841. <https://doi.org/10.1038/166840a0>
- Cao, Y., Guan, D., Huang, W., Yang, J., Cao, Y., & Qiao, Y. (2019). Pedestrian detection with unsupervised multispectral feature learning using deep neural networks. *Information Fusion*, *46*, 206–217. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.06.005>
- Chong, K. P., Dayou, J., & Alexander, A. (2017). (*SpringerBriefs in Agriculture*) Khim Phin Chong, Jedol Dayou, Arnyitte Alexander (auth.)-*Detection and Control of Ganoderma boninense in Oil Palm Crop-Springer International Publishing (2017).pdf*.
- Denis, M., Cochard, B., Syahputra, I., de Franqueville, H., & Tisné, S. (2018). Evaluation of spatio-temporal Bayesian models for the spread of infectious diseases in oil palm. *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2017.12.002>
- Ferentinos, K. P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009>
- Fuentes, A., Yoon, S., Kim, S. C., & Park, D. S. (2017). A robust deep-learning-based detector for real-time tomato plant diseases and pests recognition. *Sensors (Switzerland)*, *17*(9). <https://doi.org/10.3390/s17092022>
- Fuentes, A., Yoon, S., & Park, D. S. (2019). Deep Learning-Based Phenotyping System With Glocal Description of Plant Anomalies and Symptoms. *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01321>
- Gatys, L. A., Ecker, A. S., & Bethge, M. (2016). Image Style Transfer Using Convolutional Neural Networks. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.265>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2017). *deep learning English version*.
- Guan, D., Cao, Y., Yang, J., Cao, Y., & Yang, M. Y. (2019). Fusion of multispectral data through illumination-aware deep neural networks for pedestrian detection. *Information Fusion*, *50*, 148–157. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.11.017>

- Hashim, I. C., Shariff, A. R. M., Bejo, S. K., Muharam, F. M., & Ahmad, K. (2018). Classification for non infected and infected ganoderma boninense of oil palm trees using ALOS PALSAR-2 backscattering coefficient. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 169(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/169/1/012066>
- Hidayati, N., Glen, M., Nurrohmah, S. H., Rimbawanto, A., & Mohammed, C. L. (2014). Ganoderma steyaertanum as a root-rot pathogen of forest trees. *Forest Pathology*. <https://doi.org/10.1111/efp.12142>
- Johnson, R. D., & Kasischke, E. S. (1998). Change vector analysis: A technique for the multispectral monitoring of land cover and condition. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/014311698216062>
- Kamu, A., Khim Phin, C., Seman, I. A., & Chong Mun, H. (2015). Distribution of infected oil palms with Ganoderma basal stems root disease. *Journal of Scientific Research and Development*.
- Kamu, A., Phin, C. K., Seman, I. A., Wan, H. H., & Mun, H. C. (2015). Spatial statistical analysis of basal stem root disease under natural field epidemic of oil palm. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.4907420>
- Kemker, R., Salvaggio, C., & Kanan, C. (2018). Algorithms for semantic segmentation of multispectral remote sensing imagery using deep learning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.04.014>
- Khaled, A. Y., Abd Aziz, S., Bejo, S. K., Nawi, N. M., & Abu Seman, I. (2018). Spectral features selection and classification of oil palm leaves infected by Basal stem rot (BSR) disease using dielectric spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.11.012>
- Konig, D., Adam, M., Jarvers, C., Layher, G., Neumann, H., & Teutsch, M. (2017). Fully Convolutional Region Proposal Networks for Multispectral Person Detection. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. <https://doi.org/10.1109/CVPRW.2017.36>
- Laskar, Z., Melekhov, I., Kalia, S., & Kannala, J. (2017). Camera Relocalization by Computing Pairwise Relative Poses Using Convolutional Neural Network. *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Computer Vision Workshops, ICCVW 2017*. <https://doi.org/10.1109/ICCVW.2017.113>
- Lelong, C. C. D., Roger, J. M., Brégand, S., Dubertret, F., Lanore, M., Sitorus, N. A., ... Caliman, J. P. (2010). Evaluation of oil-palm fungal disease infestation with canopy hyperspectral reflectance data. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s100100734>
- Liaghat, S., Ehsani, R., Mansor, S., Shafri, H. Z. M., Meon, S., Sankaran, S., & Azam, S. H. M. N. (2014). Early detection of basal stem rot disease (Ganoderma) in oil palms based on hyperspectral reflectance data using pattern recognition algorithms. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.903353>
- Lisawita, Hanum, H., & Tantawi, A. R. (2016a). Survey of Basal Stem Rot Disease on Oil Palms (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Kebun Bukit Kijang, North Sumatera, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 41(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/41/1/012007>
- Lisawita, Hanum, H., & Tantawi, A. R. (2016b). Survey of Basal Stem Rot Disease on Oil Palms (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Kebun Bukit Kijang, North Sumatera, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 41(1).

- <https://doi.org/10.1088/1755-1315/41/1/012007>
- Liu, B., Zhang, Y., He, D. J., & Li, Y. (2018). Identification of apple leaf diseases based on deep convolutional neural networks. *Symmetry*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/sym10010011>
- Maggiore, E., Tarabalka, Y., Charpiat, G., & Alliez, P. (2016). Fully convolutional neural networks for remote sensing image classification. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730322>
- Markom, M. A., Shakaff, A. Y. M., Adom, A. H., Ahmad, M. N., Hidayat, W., Abdullah, A. H., & Fikri, N. A. (2009). Intelligent electronic nose system for basal stem rot disease detection. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.01.006>
- Minařík, R., & Langhammer, J. (2016). Use of a multispectral UAV photogrammetry for detection and tracking of forest disturbance dynamics. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B8-711-2016>
- Muslim, A. A. dkk. (2015). Sistem Pakar Diagnosa Hama Dan Penyakit Cabai Berbasis Teorema Bayes. *Jutisi*.
- Nasution, T. D. S., & Supriadi, S. (2016). Survey Dan Pemetaan Status Hara K Dan C-Organik Pada Lahan Kelapa Sawit Yang Terserang Ganoderma Di PT. PD PATI Kabupaten Aceh Tamiang. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 4(4), 2238–2244. <https://doi.org/10.32734/jaet.v4i4.13439>
- Rakib, M. R. M., Bong, C. F. J., Khairulmazmi, A., & Idris, A. S. (2014). Occurrence and spatial distribution of Ganoderma species causing upper and basal stem rot in oil palm. *Journal of Food, Agriculture and Environment*.
- Rao, M., Tang, L., Tang, P., & Zhang, Z. (2019). ES-CNN: An end-to-end siamese convolutional neural network for hyperspectral image classification. *2019 Joint Urban Remote Sensing Event, JURSE 2019*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/JURSE.2019.8808991>
- Raschka, S. (2018). *Model Evaluation, Model Selection, and Algorithm Selection in Machine Learning*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1811.12808>
- Rippel, O., Snoek, J., & Adams, R. P. (2015). Spectral representations for convolutional neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*.
- Santoso, H., Tani, H., & Wang, X. (2017). Random Forest classification model of basal stem rot disease caused by Ganoderma boninense in oil palm plantations. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1331474>
- Santoso, H., Tani, H., Wang, X., Prasetyo, A. E., & Sonobe, R. (2019). Classifying the severity of basal stem rot disease in oil palm plantations using WorldView-3 imagery and machine learning algorithms. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1541368>
- Selvaraj, M. G., Vergara, A., Ruiz, H., Safari, N., Elayabalan, S., Ocimati, W., & Blomme, G. (2019). AI-powered banana diseases and pest detection. *Plant Methods*. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0475-z>
- Senthilnath, J., Dokania, A., Kandukuri, M., K.N., R., Anand, G., & Omkar, S. N. (2016). Detection of tomatoes using spectral-spatial methods in remotely sensed RGB images captured by UAV. *Biosystems Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.12.003>

- Sladojevic, S., Arsenovic, M., Anderla, A., Culibrk, D., & Stefanovic, D. (2016). Deep Neural Networks Based Recognition of Plant Diseases by Leaf Image Classification. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3289801>
- Solahudin, M., & Fenry, W. M. (2019). Identifikasi Ganoderma pada Tanaman Kelapa Sawit Berbasis Citra Multispektral. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 7(2), 193–200. <https://doi.org/10.19028/jtep.07.2.193-200>
- Suartika E. P, I. W. (2016). Klasifikasi Citra Menggunakan Convolutional Neural Network (Cnn) Pada Caltech 101. *Jurnal Teknik ITS*, 5(1), 76. Retrieved from <http://repository.its.ac.id/48842/>
- Sudeep, K. S., & Pal, K. K. (2017). Preprocessing for image classification by convolutional neural networks. *2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology, RTEICT 2016 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2016.7808140>
- Susanto, A., Prasetyo, A., & Wening, S. (2013). Laju Infeksi Ganoderma pada Empat Kelas Tekstur Tanah. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 9(2), 39–46. <https://doi.org/10.14692/jfi.9.2.39>
- Susanto, A., Sudharto, P. S., & Purba, R. Y. (2005). Enhancing biological control of basal stem rot disease (Ganoderma boninense) in oil palm plantations. *Mycopathologia*. <https://doi.org/10.1007/s11046-004-4438-0>
- Sutanto. (1999). *Penginderaan Jauh Jilid 2*. Gadjah Mada University Press.
- Tuama, A., Comby, F., & Chaumont, M. (2017). Camera model identification with the use of deep convolutional neural networks. *8th IEEE International Workshop on Information Forensics and Security, WIFS 2016*. <https://doi.org/10.1109/WIFS.2016.7823908>
- Utomo, C., & Niepold, F. (2000a). Development of diagnostic methods for detecting Ganoderma-infected oil palms. *Journal of Phytopathology*. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.2000.00478.x>
- Utomo, C., & Niepold, F. (2000b). Development of diagnostic methods for detecting Ganoderma-infected oil palms. *Journal of Phytopathology*, 148(9–10), 507–514. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.2000.00478.x>
- [KEMENTAN] Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2019. Statistik Perkubunan Kelapa Sawit Indonesia 2017-2019. Tersedia dari : <http://www.ditjenbun.pertanian.go.id>