

# PURWARUPA KAMERA MULTISPEKTRAL PADA SATELIT CUBESAT UNTUK MENDETEKSI KUALITAS TANAMAN HIJAU

## *PROTOTYPE OF MULTISPECTRAL CAMERA FOR CUBESAT TO DETECT GREEN PLANT QUALITY*

Lita Kurnia Fitriyanti<sup>1</sup>, Heroe Wijanto<sup>2</sup>, Edwar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Telkom, Bandung

litakurniaft@student.telkomuniversity.ac.id<sup>1</sup>, heroewijanto@telkomuniversity.ac.id<sup>2</sup>,  
edwarm@telkomuniversity.ac.id<sup>3</sup>

---

### Abstrak

Saat ini satelit merupakan teknologi yang dikembangkan dalam berbagai bidang untuk mengatasi berbagai macam permasalahan. Satelit memiliki berbagai misi, ukuran serta berat yang bisa diatur sesuai dengan kebutuhan. Satelit dengan ukuran dan dimensi yang kecil disebut dengan satelit nano, salah satu jenis satelit nano yaitu Cubesat memiliki ukuran 1U (10x10x10)  $cm^3$ , 2U (20x20x20)  $cm^3$  dan 3U (30x30x30)  $cm^3$  yang mengorbit pada *Low Earth Orbit*. Salah satu misi dari satelit yaitu *remote sensing* dengan kamera sebagai muatan utamanya. Data yang diambil dalam *remote sensing* bisa bermacam-macam salah satunya pengambilan data untuk menganalisa tanaman hijau. Dalam Tugas Akhir ini berhasil menggunakan 2 jenis kamera dengan harga murah dan ukuran kecil yaitu kamera raspberry pi RGB dan kamera raspberry pi NoIR untuk menghasilkan pencitraan multispektral. Purwarupa mampu mengambil gambar tanaman hijau dalam format JPEG dengan besar fail rata rata 4.3 Mb, yang ditransmisikan ke PC dalam rata rata waktu 5700 ms. *Image Processing* dilakukan melalui *website open source image sequencer* dan mampu menghasilkan *output-output NDVI* dengan rentang indeks -1 hingga 1 sehingga analisa tanaman sehat dan tidak sehat dapat dilakukan.

**Kata Kunci :** *remote sensing, Cubesat, kamera multispektral*

---

### Abstract

Satellite is a technology developed in various fields to overcome various kinds of problems. Satellites have various missions, sizes and weights that can be adjusted according to need. Satellites with small size and dimensions are called nano satellites, one type of nano satellite is Cubesat having a size of 1U (10x10x10)  $cm^3$ , 2U (20x20x20)  $cm^3$  dan 3U (30x30x30)  $cm^3$  orbited on Low Earth Orbit (LEO). One mission of the satellite is a remote sensing with the camera as its payload. Data taken in remote sensing can vary, one of which is data retrieval to analyze green plants. In analyzing the green plants of the camera the most widely used is the type of multispectral camera. Multispectral cameras are expensive and large in size so they won't fit on the Cubesat satellite. In this final project, 2 types of cameras were used, it's raspberry pi RGB camera and the raspberry pi NoIR camera to produce multispectral imaging. The prototype is able to take pictures of green plants in JPEG format with average of capacity of 4.3 MB, which is transmitted to a PC in an average of 5700 ms seconds. Image Processing is done through website open source image sequencer and is able to produce output output NDVI with an index range of -1 to 1 so that the analysis of healthy and unhealthy plants can done.

**Keywords:** *remote sensing, Cubesat, multispectral camera*

---

## 1. Pendahuluan

Saat ini satelit merupakan teknologi yang dikembangkan dalam berbagai bidang untuk mengatasi berbagai macam permasalahan. Satelit memiliki berbagai misi, ukuran serta berat

yang bisa diatur sesuai dengan kebutuhan. Satelit dengan ukuran dan dimensi yang kecil disebut dengan satelit nano, salah satu jenis satelit nano yaitu *cubesat* memiliki ukuran 1U ( $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ ), 2U ( $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ ) dan 3U ( $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ ) yang mengorbit pada *Low Earth Orbit* [1]. Universitas Telkom sedang mengembangkan proyek satelit yang berfokus pada satelit *cubesat* berukuran 1U dengan berat kurang dari 10 kg yang diberi nama TEL-USat [2]. TEL-USat mengemban misi *remote sensing* yaitu penginderaan jauh untuk mengambil beberapa data-data yang diperlukan dari luar angkasa. *Payload* atau muatan utama yang terdapat pada TEL-USat dengan misi *remote sensing* adalah kamera.

Muatan kamera pada *cubesat* berfungsi sebagai alat untuk mengambil gambar sesuai dengan misinya [3]. Salah satu hal yang bisa dilakukan oleh penginderaan jauh adalah dalam bidang Agraria. Indonesia merupakan negara agraris dimana sektor pertanian merupakan mata pencaharian utama dari masyarakat Indonesia, oleh karena itu dalam Tugas Akhir ini penulis akan menggunakan *cubesat* dengan *payload* kamera multispektral agar dapat menganalisa kesehatan tanaman hijau melalui penginderaan jauh.

Kamera multispektral merupakan kamera yang menggabungkan antara spektrum dan panjang gelombang tertentu, pada penelitian kali ini penulis akan menggunakan spektrum *Visible light and Near to Infrared* (VNIR) untuk proses klasifikasi vegetasi [4] yang memiliki panjang gelombang yaitu *Near To Infrared* (NIR)

dengan *bands* 400-1100 nm dan *Red Blue Green* (RGB) dengan *bands* 400-700 nm [5]. Kamera Multispektral merupakan kamera yang paling umum digunakan dalam bidang pertanian dan agraria untuk menangani berbagai macam permasalahan.

Kamera multispektral memiliki ukuran yang cenderung besar dan mahal, oleh karena itu dalam Tugas Akhir ini penulis akan memodifikasi kamera multispektral agar mendapat biaya yang murah serta ukurannya pas untuk satelit Cubesat 1U.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Cubesat

CubeSat merupakan salah satu bagian dari satelit nano yaitu sejenis pesawat ruang angkasa yang digunakan oleh para ilmuwan dan peneliti untuk tujuan penelitian dengan misi tertentu. Dimensi standar CubeSat disebut Unit (U). Dimensi masing-masing unit adalah  $10 \times 10 \times 11 \text{ cm}$ . Ukuran CubeSat bisa 1U, 2U, 3U, atau 6U, dan biasanya beratnya kurang dari 1,33 kg untuk setiap 1U. CubeSat dirancang pada skala miniatur untuk mengurangi biaya penempatan. Misi CubeSat dibuat untuk *Low Earth Orbits* (LEO) dengan ketinggian 200 - 1600 km [6].

Sistem CubeSat terdiri dari: Electrical Power System (EPS), Attitude Determination and Control System (ADCS), *Communication System*, *Telemetry Tracking and Command System*, *Structure and Mechanism System* dan *Thermal Control System*.

### 2.2 Payload Subsystem

Payload adalah subsistem paling penting pada satelit, payload adalah muatan yang terdapat pada satelit yang di bawa dari bumi menuju luar angkasa dengan suatu misi dan tujuan tertentu. Payload mendefinisikan suatu satelit sesuai dengan fungsinya. Contohnya pada satelit dengan misi penginderaan jauh maka *payload* atau muatan yang dibawa adalah kamera multispektral, *mapping scanners* dan kamera resolusi tinggi [7].

### 2.3 Pencitraan Multispektral

Citra multispektral atau multispektral imaging adalah salah satu cara atau metode menangkap data gambar pada frekuensi tertentu di seluruh spektrum elektromagnetik. Panjang gelombang dapat dipisahkan dengan filter atau dengan menggunakan instrumen yang sensitif terhadap panjang gelombang tertentu, termasuk cahaya dari frekuensi di luar jangkauan cahaya tampak, seperti inframerah.

Multispectral imaging adalah metode penginderaan jauh yang mendapatkan representasi optik dalam dua atau lebih rentang frekuensi atau panjang gelombang. Sensor multispektral untuk

penginderaan jauh dirancang untuk menangkap energi yang dipantulkan dari berbagai objek di tanah dalam spektrum gelombang elektromagnetik (EM) matahari yang terlihat dan inframerah. [8].

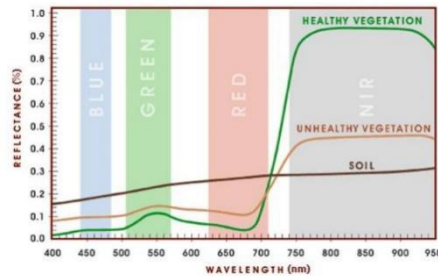
## 2.4 NDVI

Tumbuhan hijau memerlukan fotosintesis untuk dapat hidup, proses fotosintesis ini kemudian diamati untuk menghasilkan perhitungan NDVI seperti pada rumus [9]. Fotosintesis melibatkan interaksi tanaman hijau dengan sinar matahari, dua proses yang terjadi di dalam daun adalah penyerapan dan penghamburan sinar matahari. Pigmen tanaman (klorofil dan karotenoid) dan air menyerap panjang gelombang pada spektrum cahaya tertentu. Penghamburan cahaya disebabkan oleh struktur internal daun berupa labirin berisi udara dan sel-sel berisi air yang tidak teratur. Hal ini mengakibatkan penghamburan cahaya karena terjadi perbedaan dalam indeks bias antara sel yang diisi udara dan air dan pantulan internal dari sel yang tidak beraturan [10].

Berikut perhitungan NDVI:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (2.1)$$

dimana NIR adalah pemantulan spektrum NIR yang terjadi pada daun dan RED adalah spektrum merah pada cahaya tampak [11].



**Gambar 2.3.** Kurva Spektral dari tanaman sehat dan tidak sehat

Pada Gambar 2.3 merupakan kurva Spektral dari tanaman sehat dan tidak sehat, tanaman sehat akan menyerap spektrum cahaya merah mendekati 0 dan memantulkan spektrum NIR mendekati 1 karena terjadi proses fotosintesis dimana cahaya diserap untuk memproses dapur tanaman dan NIR dipantulkan karena adanya perbedaan indeks pada sel-sel tanaman yang terisi oksigen dan air. Sementara pada tanaman yang tidak sehat tidak terjadi proses fotosintesis sehingga penyerapan cahaya tidak maksimal dan pemantulan NIR hanya sedikit.

Sehingga pada tanaman tidak sehat dapat diasumsikan NIR adalah 0 dengan kondisi tidak ada NIR yang dipantulkan, kondisi ini terjadi ketika sel-sel tanaman mati, dapat diperoleh persamaan:

$$NDVI = \frac{0-RED}{0+RED} = -1 \quad (2.2)$$

Pada kasus tanaman sehat spektrum cahaya merah dianggap 0, diasumsikan bahwa seluruh cahaya merah diserap untuk pembuatan fotosintesis

$$NDVI = \frac{NIR-0}{NIR+0} = +1 \quad (2.3)$$

Dapat disimpulkan bahwa NDVI memiliki range -1 hingga +1 untuk mengidentifikasi kesehatan tanaman. Semakin angkanya mendekati 1 maka tanaman bisa diklasifikasikan sebagai tanaman sehat sedangkan jika angkanya mendekati -1 maka dapat dikatakan tanaman tidak sehat.

## 2.5 Hardware

*Hardware* yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah mikrokontroler, kamera dan *micro SD*.

### 2.5.1 Raspberry Pi Zero W

Raspberry Pi adalah komputer berukuran kartu kredit dengan harga yang terjangkau yang dihubungkan ke monitor komputer atau TV, menggunakan keyboard dan mouse standar. [12]. Konfigurasi Raspberry Pi dengan kamera raspberry dapat memberikan citra dalam format *raw* data sehingga bisa digunakan untuk banyak aplikasi, termasuk visi komputer, biofotonik, pengujian medis, penginderaan jauh, astronomi, kualitas gambar yang ditingkatkan, retang High Dynamic Range (HDR) imaging, dan pemantauan keamanan. [13]

### 2.7.2 Kamera Raspberry Pi v2

Raspberry Pi modul kamera adalah produk resmi dari Raspberry Pi, dengan v2 dirilis pada tahun 2016. Berikut spesifikasi kamera raspberry pi 2:

Ukuran	: 25 x 24 x 9 mm
Berat	: 3 gram
Resolusi	: 5 Megapixel
Sensor	: Sony IMX219
Mode Video	: 1080p30, 720p60 and 640, 480p60/90
Resolusi Sensor	: 3280 2464 pixels

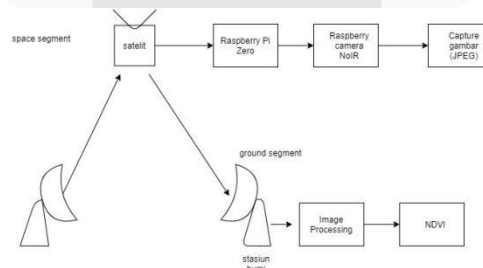
### 2.7.3 Kamera Pi NoIR v2

Raspberry Pi juga menyediakan versi Sony IMX219 yang mencakup rentang *Near To Infrared* (NIR) yang disebut kamera NoIR. Kamera ini memiliki filter No infrared (NoIR) pada lensa, yang memungkinkan pencitraan di luar rentang *visible light*. Kamera NoIR memiliki spesifikasi sama dengan kamera raspberry pi v2 namun pada kamera NoIR tidak disediakan filter infrared. Pada kamera NoIR terdapat jel biru yang berfungsi untuk memantau kesehatan tanaman hijau [14].

## 3. Perencanaan Sistem

### 3.1 Perancangan Sistem

Teori dasar dari Tugas Akhir ini telah dijelaskan pada bab 2. Pada bab 3 akan dijelaskan secara spesifik tentang perancangan sistem yang akan dibuat, *tools* yang digunakan dan *output* yang ingin dicapai. Hasil akhir yang dianalisa adalah data tanaman hijau yang diambil dari satelit. Pada purwarupa sistem fungsi receiver diganti menjadi *Personal Computer* yang menerima data yang dikirimkan oleh Raspberry Pi. Pada Gambar 3.1



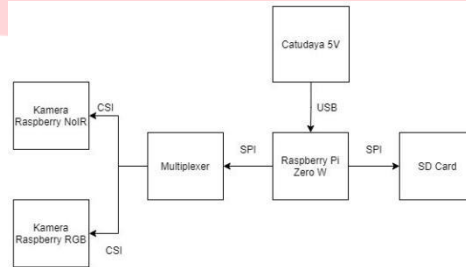
**Gambar 3.1.** Block Diagram Perancangan Sistem pada Satelit Nano

Pada gambar 3.1. menunjukkan block diagram perancangan system pada satelit nano

Raspberry akan menerima perintah dari bumi untuk menghidupkan kamera pada lokasi tertentu. Kemudian Kamera akan memotret ruang hijau yang telah ditentukan, data akan disimpan pada sd card Raspberry untuk selanjutnya ditransmisikan ke satelit bumi. Setelah receiver menerima data dari satelit maka gambar akan diproses untuk menghasilkan gambar NDVI. Tugas akhir ini berfokus pada muatan satelit nano yang memiliki misi memotret gambar serta pengolahan *image processing* hingga menghasilkan gambar NDVI.

### 3.2 Perancangan Subsystem Muatan pada OBC

Dalam penempatan subsystem muatan pada OBC menggunakan 2 buah sensor kamera untuk menghasilkan citra multispektral, gambar disimpan pada SD card module. Seluruh muatan diintegrasikan dengan raspberry pi zero w pada On Board Computer (OBC).



**Gambar 3.4.** Perancangan Subsystem Muatan pada OBC

Pada gambar 3.4 merupakan blok diagram perancangan subsystem muatan pada OBC. Pada raspberry pi zero w akan terdapat inisialisasi untuk on, stand by dan off. Kamera tidak aktif saat keadaan off dan kamera akan terpicu menuju keadaan standby saat akan melewati daerah tertentu, pada saat saat daerah cakupan sudah dekat kamera akan beralih ke mode on, saat on kamera akan menangkap daerah cakupannya. Kamera Raspberry Pi RGB dan Kamera Raspberry NoIR bergantian mengambil data atau gambar. Hasil gambar atau data kemudian disimpan dalam SD Card Module, baru setelah itu hasil data kamera RGB dan NoIR digabungkan dengan salah satu metode *image processing* agar menghasilkan satu buah data.

### 3.3 Antarmuka Mikrokontroler dan Kamera

Tipe kamera yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah kamera raspberry pi RGB dan kamera raspberry pi dengan sensor sony IMX219 yang dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan 2.6. Alasan menggunakan kamera ini adalah karena ukurannya yang kecil yaitu 25 x 24 x 9 mm serta memiliki cakupan spektrum yang diperlukan yaitu spektrum cahaya tampak (*red, blue, green*) dan NIR. Hasil cakupan jarak sebenarnya dari citra gambar oleh kamera dapat diketahui dari perhitungan menggunakan persamaan (2.4) hingga (2.6) berikut

$$\begin{aligned}
 GSD &= \frac{Sw \times H \times 100}{Fr \times ImW} \\
 &= \frac{2.76 \times 500.000 \times 100}{3.04 \times 3280} \\
 &= 13839.86 \text{ cm} \\
 &= 138 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Dw &= GSD \times ImW \\
 &= 138 \times 3280 \\
 &= 452640 \text{ m}
 \end{aligned}$$

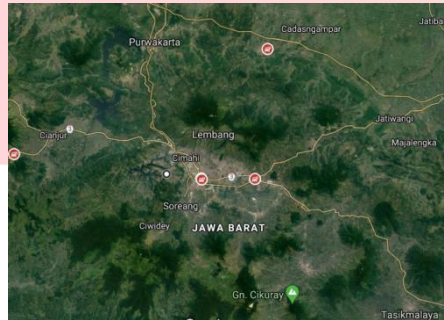
nilai lebarnya adalah  $Dw = 452 \text{ km}$

$$\begin{aligned}
 Dh &= GSD \times ImH \\
 &= 138 \times 2464
 \end{aligned}$$

= 340.032 m

nilai tingginya adalah  $D_h = 340$  km

Cakupan dari pencitraan gambar permukaan bumi yang diambil oleh kamera raspberry menghasilkan 452 km 340 km jarak sebenarnya. Gambar 3.5 merupakan hasil dari cakupan jarak sebenarnya yang diambil dari google maps.



**Gambar 3.5.** cakupan wilayah yang dicapture kamera

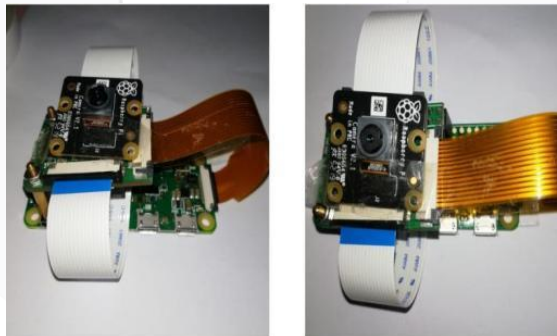
Pada gambar 3.5. menunjukkan gambar cakupan wilayah yang dicapture oleh kamera

Gambar yang dicapture sebanyak 2 kali, 1 kali menggunakan kamera v2 dan 1 kali menggunakan kamera NoIR, kemudian data berupa gambar akan disimpan pada SD card module selanjutnya data dikirimkan ke *ground station* untuk selanjutnya dilakukan proses *image processing*.

#### 4. Analisis Simulasi Sistem

##### 4.1 Rangkaian Kamera

Pada tahap ini, rangkaian yang dirancang pada BAB 3 telah direalisasikan, rang-kaiian ini nantinya akan digunakan pada salah satu layer satelit nano.



**Gambar 4.1.** Rangkain Kamera Raspberry

Pada gambar 4.1. menunjukkan gambar tentang rangkaian kamera raspberry

Kedua kamera dihububungkan pada multiplexer, kemudian multiplexer di- hungkan dengan Raspberry pi zero w menggunakan kabel *ribbon*.

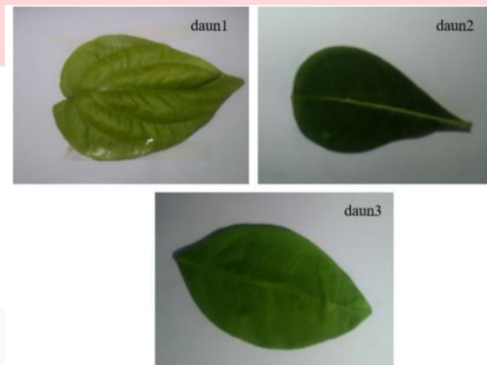
##### 4.1.1 Uji Coba Pada Daun Sehat

Uji coba pertama dilakukan pada daun yang sehat, didalam ruangan dengan pencahayaan yang cukup dapat dilihat pada Tabel 4.1 yang mencakup informasi fail.

Tabel 4.1 Data Pengambilan Gambar Daun Sehat Dari Kamera

Nama Fail	Waktu (ms)	Ukuran (MB)	Transfer Fail (ms)	Keterangan
daun1	5000	4.2	7000	Daun sirih
daun2	5000	3.91	5000	Daun kamboja
daun3	5000	4.12	5200	Daun Salam

Berdasarkan pengambilan 3 sampel daun sehat, rata-rata kamera menangkap gambar adalah 5000 ms dengan ukuran fail rata-raa 4.07 MB dan waktu transfer 5700 ms.



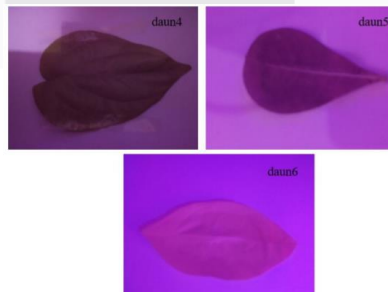
**Gambar 4.1** Sampel Gambar Daun Sehat yang Diambil Kamera RGB

Pada Tabel 4.2 merupakan uji coba pengambilan sampel menggunakan kamera Raspberry NoIR untuk menangkap spektrum NIR pada daun.

**Tabel 4.2** Data Pengambilan Gambar Daun Sehat Dari Kamera NoIR

Nama Fail	Waktu (ms)	Ukuran (MB)	Transfer Fail (ms)	Keterangan
daun4	5000	4.2	6000	Daun sirih
daun5	5000	4.52	6100	Daun kamboja
daun6	5000	4.67	6100	Daun Salam

Berdasarkan pengambilan 3 sampel daun sehat, rata-rata kamera menangkap gambar adalah 5000 ms dengan ukuran fail rata-rata 4.4 MB dan waktu transfer fail dari penyimpanan ke raspberry adalah 5100 ms.



**Gambar 4.2** Sampel Gambar Daun Sehat Dari Kamera NoIR

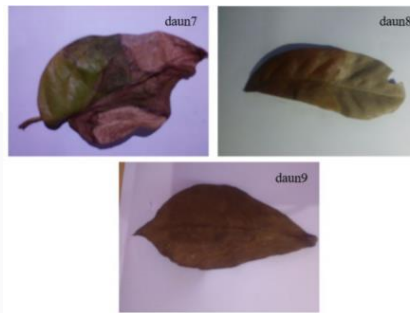
#### 4.1.2 Uji Coba Pada Daun Tidak Sehat

Pada Tabel 4.3 merupakan data uji coba selanjutnya menggunakan daun tidak sehat yang ditandai dengan daun yang nampak kering, layu dan berwarna cokelat.

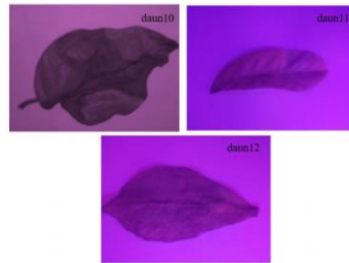
Tabel 4.3 Data Pengambilan Gambar Daun Tidak Sehat dari Kamera RGB

Nama Fail	Waktu (ms)	Ukuran (MB)	Transfer Fail (ms)	Keterangan
daun7	5000	4.11	5500	Daun sirih
daun8	5000	4.08	5000	Daun kamboja
daun9	5000	4.06	5000	Daun Salam

Dari pengambilan 3 sampel daun sehat, rata - rata kamera menangkap gambar adalah 5100 ms dengan ukuran fail rata - rata 4.08 MB dan waktu transfer fail dari penyimpanan raspberry ke PC adalah 6.066 ms.



Gambar 4.5 Sampel Gambar Daun Tidak Sehat yang Diambil Kamera RGB



Gambar 4.6. Sampel Gambar Daun Tidak Sehat yang Diambil Kamera NoIR

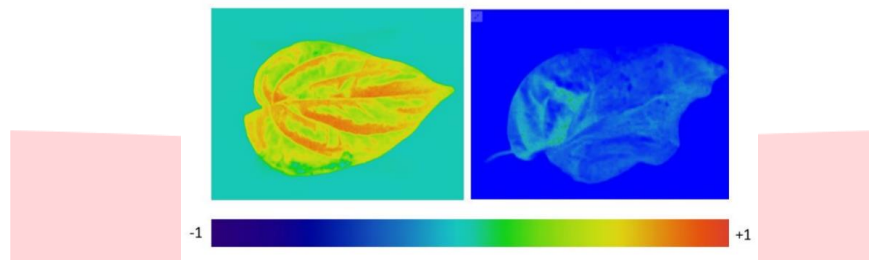
### 4.3 Image Processing

Setelah sampel terkumpul maka akan dilakukan proses image processing secara terpisah pada PC untuk menghasilkan output NDVI yang selanjutnya akan dianalisis tingkat kesehatannya.

#### 4.3.1 NDVI

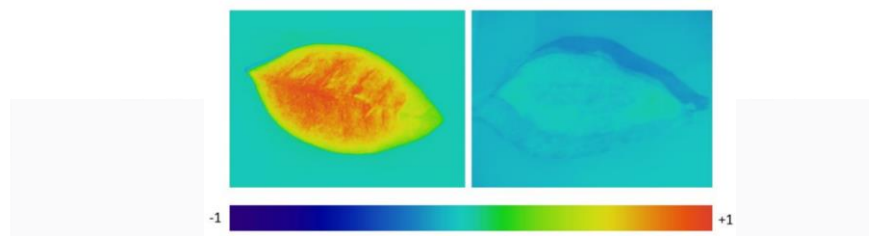
Proses pengolahan NDVI dilakukan pada website open source sequencer.publiclab.org dengan beberapa tahapan yaitu blend dan ndvi processing.





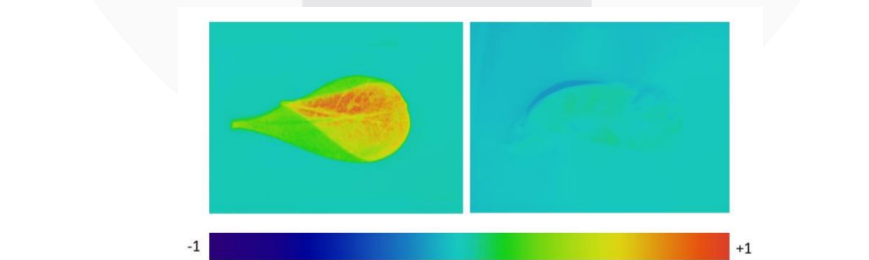
**Gambar 4.7** Perbandingan Daun Sirih Sehat dan Tidak Sehat

Pada gambar 4.7 berdasarkan colormap NDVI, gambar sirih yang sehat dan berada pada sebelah kiri skala indeksinya mendekati +1 dengan komposisi warna merah, kuning dan hijau pada permukaan daunnya. Pada gambar kanan, warna yang ditampilkan sebagian besar berwarna biru tua hampir menyatu dengan warna backgroundnya. Pada index yang terdapat pada colormap warna biru tua skalanya mendekati -1 sehingga dapat diartikan tanaman tidak melakukan proses fotosintesis.



**Gambar 4.8** Perbandingan Daun Salam Sehat dan Tidak Sehat

Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan salam yang sehat dan tidak sehat setelah diberi colormap. Berdasarkan colormap NDVI, gambar salam yang sehat dan berada pada sebelah kiri skala indeksinya mendekati +1 dengan komposisi warna merah, kuning dan hijau pada permukaan daunnya. Jika dibandingkan dengan Gambar 4.8 permukaan daun salam mengandung warna merah yang lebih banyak. Hampir seluruh permukaannya ditutupi warna merah. Pada gambar kanan, warna yang ditampilkan sebagian besar berwarna muda hampir menyatu dengan warna backgroundnya. Pada index yang terdapat pada colormap warna biru tua skalanya mendekati -1 sehingga dapat diartikan tanaman tidak melakukan proses fotosintesis. Jika dibandingkan dengan Gambar 4.13 warna pada daun lebih muda, hal ini disebabkan oleh pengambilan sampel dengan waktu yang berbeda, sehingga intensitas cahaya yang diterimapun berbeda sesuai dengan pencahayaan ruangan.



**Gambar 4.9** Perbandingan Daun Kamboja Sehat dan Tidak Sehat

Gambar 4.9 menunjukkan dua gambar dengan warna yang berbeda, pada gambar kiri permukaan daun diisi oleh warna merah, kuning dan hijau sedangkan pada gambar kan permukaan daun hampir tidak terlihat karena menyatu dengan background. Pada gambar kanan dapat disimpulkan bahwa kondisi daun sehat serta proses fotosintesis berlangsung dengan baik, pada gambar kiri proses fotosintesis tidak berlangsung dengan baik, daun dengan fotosintesis yang tidak baik dapat dikategorikan sebagai daun yang layu atau tidak sehat.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, uji coba dan analisa dari Tugas Akhir ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu purwarupa yang dirancang berhasil mengirim data berupa gambar dalam format JPEG ke PC melalui raspberry zero dan menghasilkan 2 gambar RGB dan NIR, purwarupa mampu mengambil gambar tanaman hijau dalam format JPEG dengan kapasitas 8 Mb persatuan gambar, yang ditransmisikan ke PC dalam rata rata waktu 5 detik melalui WinSCP, *Image Processing* dilakuka melalui *website* open source dan mampu menghasilkan *output output* NDVI dengan rentang indeks -1 hingga 1. Analisa tanaman sehat dan tidak sehat dapat dilakukan dan purwarupa dapat diaplikasikan pada satelit Cubesat karena ukurannya yang kecil dan ringan.

## Referensi :

- [1] M. Oredsson, "Electrical power system for the cubestar nanosatellite," Master's thesis, 2010.
- [2] R. T. Prodoningrum, H. Wijanto, and A. D. Prasetyo, "Perancangan dan realisasi antenna deployment untuk muatan automatic packet reporting system (aprs) pada sturktur nanosatellite," *eProceedings of Engineering*, vol. 2, no. 1, 2015.
- [3] K. Khurshid, R. Mahmood, and Q. ul Islam, "A survey of camera modules for cubesats-design of imaging payload of icube-1," in *2013 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*. IEEE, 2013, pp. 875–879.
- [4] K. Navulur, *Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm*. CRC press, 2006.
- [5] X. Soria, A. D. Sappa, and R. I. Hammoud, "Wide-band color imagery restoration for rgb-nir single sensor images," *Sensors*, vol. 18, no. 7, p. 2059, 2018.
- [6] M. C. Mahdi, *Attitude Stabilization for CubeSat: Concepts and Technology*. Cambridge Scholars Publishing, 2018.
- [7] A. K. Maini and V. Agrawal, *Satellite technology: principles and applications*. John Wiley & Sons, 2011.
- [8] W. Burger and M. J. Burge, *Principles of digital image processing: fundamental techniques*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [9] G. A. Lobos, A. V. Camargo, A. del Pozo, J. L. Araus, R. Ortiz, and J. H. Doonan, "Plant phenotyping and phenomics for plant breeding," *Frontiers in plant science*, vol. 8, p. 2181, 2017.
- [10] G. T. Yengoh, D. Dent, L. Olsson, A. E. Tengberg, and C. J. Tucker III, *Use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Assess Land Degradation at Multiple Scales: Current Status, Future Trends, and Practical Considerations*. Springer, 2015.
- [11] S. Rajkumar, M. Srikanth, and N. Ramasubramanian, "Health monitoring system using raspberry pi," in *2017 International Conference on Big Data, IoT and Data Science (BIG)*. IEEE, 2017, pp. 116–119.
- [12] M. Richardson and S. Wallace, *Getting started with raspberry PI*. "O'Reilly Media, Inc.", 2012.
- [13] M. A. Pagnutti, R. E. Ryan, G. J. Cazenavette, M. J. Gold, R. Harlan, E. Leggett, and J. F. Pagnutti, "Laying the foundation to use raspberry pi 3 v2 camera module imagery for scientific and engineering purposes," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 26, no. 1, p. 013014, 2017.
- [14] raspberrypi.org. <https://www.raspberrypi.org/products/pi-noir-camera-v2/>.