

BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh Williard et al (2011) tentang *mobile robotics* menyatakan bahwa fungsi dan kemampuan dari *robot mobile* sering dihambat oleh sumber listrik. Dimana sumber listrik tidak dapat menyediakan energi yang dapat digunakan secara terus – menerus. Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi. Salah satu caranya adalah dengan menggunakan penghitungan besaran listrik. Parameter untuk optimasi merupakan arus rata-rata pada saat pengisian dan saat pengosongan. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui siklus periode pengisian sehingga dapat menjadwalkan dan mengantisipasi *over charge* atau *over discharge* pada baterai sehingga kinerja dari *mobile robotics* dapat lebih optimal. Dan hasil yang didapat dari penelitian yang dilakukan adalah sistem dapat mempertimbangkan dan mengatur kehandalan baterai yang disebut dengan sistem *PHM (Prognostic and health management)*

Penelitian oleh Turo (2015) yang melakukan optimasi pada kendaraan militer. Dalam penelitiannya energi baterai dideteksi menggunakan *hardware, software* dan menggunakan metode *BMS (Battery Management System)*. *BMS* memanfaatkan parameter berupa arus listrik yang dikonsumsi oleh kendaraan militer. Arus listrik tersebut diolah menggunakan *Soc (State of Charge)* dan *SoH (State of Health)*. Selain itu juga dilakukan analisis terhadap perilaku kendaraan militer saat *starting* dan saat operasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui status pengisian baterai dan status operasi yang bisa dilakukan oleh kendaraan militer.

Penelitian yang dilakukan oleh Pengrong (2003) menyatakan bahwa prediksi sisa kapasitas baterai telah didesain pada sebuah sistem dan mempertimbangkan penggunaan daya baterai. Sistem dapat secara efektif mengatur penggunaan daya pada sistem elektronik. *Error* pada sistem cukup tinggi, sehingga pengecekan diminimalisir dengan menggunakan pengukuran arus dan tegangan yang dilakukan secara *realtime*. Hasil yang didapat adalah *error* dari sistem 30% dapat direduksi hingga 20 %.

Dari penelitian yang telah disebutkan, diketahui bahwa penelitian mengenai optimasi *mobile robotics* dan kendaraan militer dilakukan dengan bermacam-macam cara, tetapi dengan objek penelitian yang sama. Penelitian menunjukkan hasil yang baik dan tingkat kesalahan yang cukup rendah, tetapi tetap terdapat kekurangan.

Penelitian yang menggunakan metode *PHM (Prognostic and Health Management)* merupakan metode yang digunakan untuk dapat mendeteksi anomali, mendiagnosis kesalahan, dan dapat digunakan untuk dapat memprediksi waktu penggunaan sistem. Dan kekurangan dari metode *PHM* adalah sistem yang diimplementasikan akan sangat kompleks dan terdapat kemungkinan terjadi masalah yang disebut dengan *NFF (No Fault Found)*. Selain itu sistem *PHM* dianalisis secara manual, sehingga kurang efisien dan memerlukan waktu lebih.

Kekurangan berikutnya adalah sistem tidak dapat secara langsung digunakan pada segala jenis *UAV*. Pada penelitian yang dilakukan untuk *monitoring* kendaraan militer juga memiliki kekurangan di sisi *interface*, dan analisis sistem dilakukan setelah pengoperasian kendaraan, meskipun data yang diambil *valid* namun akan lebih efektif jika analisis sistem dilakukan secara *realtime*.

Dan pada penelitian dengan tujuan untuk menganalisa sistem memiliki kekurangan berupa tidak mampunya sistem untuk dapat memprediksi baterai yang digunakan pada sistem yang berbeda, penelitian yang dilakukan hanya bertujuan untuk dapat mengoptimalkan sistem yang dapat memprediksi kapasitas baterai.

Dari kekurangan pada penelitian sebelumnya, dapat diketahui bahwa untuk dapat mengoptimasi *UAV*, dapat dilakukan melalui analisis dan perhitungan besaran listrik yang mempengaruhi kinerja alat. Perhitungan tersebut dilakukan secara *realtime* dengan antarmuka yang cukup menarik dan mudah untuk digunakan. Diharapkan melalui optimasi yang dilakukan, kinerja *quadcopter* akan menjadi lebih optimal. Perhitungan kapasitas dan arus yang dilakukan dalam penelitian pada *quadcopter*, akan menghasilkan sistem yang mampu mengestimasi waktu dan perpindahan saat *quadcopter* sedang terbang.

2.2 Dasar Teori

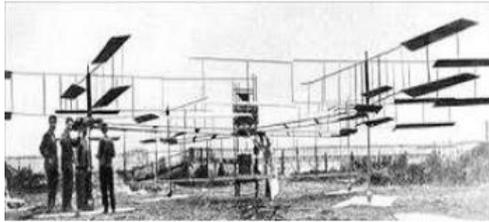
Dalam dasar teori akan dibahas mengenai teori –teori yang berhubungan dengan tujuan sistem dibuat. Dasar teori digunakan sebagai landasan untuk dapat mengimplementasikan sistem sesuai dengan ilmu pengetahuan yang telah dikembangkan.

2.2.1 Quadcopter

Menurut hutama (2015) *quadcopter* adalah sebuah sistem yang menggunakan 4 buah motor yang diletakkan pada ujung batang fiber yang ringan yang dibentuk menyilang. Motor yang digunakan biasanya adalah motor *BLDC* (*Brushless Direct Current*) yang mampu mengangkat beban dari perangkat itu sendiri ataupun perangkat lainnya seperti kamera. Pada konfigurasi dengan bentuk plus tiap motor dipasang dengan baling – baling. Motor depan dan belakang akan berputar searah dengan jarum jam dan motor kiri dan kanan akan berputar berlawanan arah.

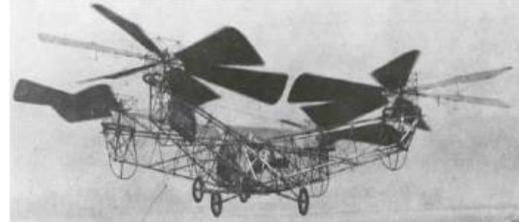
Perkembangan *quadcopter* sedang banyak dikembangkan dalam waktu dekat ini, namun bukan berarti *quadcopter* baru saja diciptakan. Ditunjukkan pada gambar 2.1 bahwa pada tahun 1907 *Breguets* bersaudara merancang sebuah *helicopter* dengan 4 baling - baling. Gambar 2.2 menunjukkan pada tahun 1922 sebuah pesawat dengan model *quadcopter* dirancangan oleh *Georges de Bothezat*. Model yang dirancang memiliki efisiensi lebih dari model sebelumnya. Pada tahun yang sama *de Bothezat* kembali menyempurnakan pesawat dengan model *quadcopter*, *de Bothezat* bekerja sama dengan insinyur bernama *Oemichen*.

Model rancangan mereka ditunjukkan pada gambar 2.3. Model Helicopter dan *quadcopter* dibuat oleh perusahaan penerbangan *Bell Aircraft corporation and the fly vehicles of the Moller company*, perusahaan ini bekerja sama dengan insinyur bernama *Curtiss Wright* pada tahun 1966, atau 3 tahun sejak model rancangan awal yg diciptakan oleh *Curtiss Wright*. Berikut adalah gambaran dari model pesawat atau helicopter yang menggunakan model *quadcopter*.



Gambar 2.1 Breguets bersaudara

Sumber: Ghazbi (2016)



Gambar 2.2 Georges de Bothezat

Sumber: Ghazbi (2016)



Gambar 2.3 de Bothezat & Oemichen

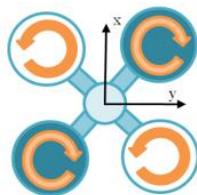
Sumber: Ghazbi (2016)



Gambar 2.4 Curtiss-Wright

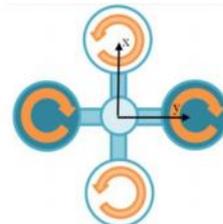
Sumber: Ghazbi (2016)

Terdapat 2 macam konfigurasi *quadcopter* berdasarkan peletakan koordinat sumbu yaitu konfigurasi *cross* dan *plus*. Konfigurasi tersebut akan ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.5 Konfigurasi Cross

Sumber: Ghazbi (2016)

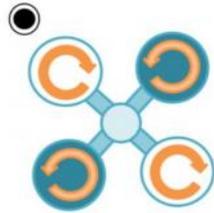


Gambar 2.6 Konfigurasi Plus

Sumber: Ghazbi (2016)

Cara kerja *quadcopter* adalah dengan 4 motor yang bekerja dengan terdapat putaran yang berlawanan arah. Terdapat 2 buah *motor* yang berfungsi menarik, dan 2 lainnya berfungsi sebagai mendorong. Pada gambar 2.5 ditunjukkan *quadcopter* dengan konfigurasi *cross*, dimana koordinat sumbu X dan Y terdapat di tengah-tengah diantara 2 baling-baling depan dan samping. Juga terdapat *quadcopter* dengan konfigurasi *plus* yang ditunjukkan pada gambar 2.6 yang merupakan *quadcopter* dengan koordinat sumbu X dan sumbu Y berada pada baling-baling depan dan baling-baling samping.

Quadcopter mempunyai 6 *DOF* (*Degree of Freedom*), dimana 4 gerakan translasi dan 2 gerakan rotasi. Operasi terbang *quadcopter* antara lain adalah maju, mundur, naik, turun, ke kanan, ke kiri, *clockwise* dan *counterclockwise*. Operasi maju dan mundur diwakili oleh sumbu X (*pitch*), operasi ke kanan dan kekiri diwakili oleh sumbu Y (*roll*), operasi *clockwise* dan *counterclockwise* diwakili oleh sumbu Z (*yaw*), sedangkan pada naik dan turun diwakili *gaz*.



Gambar 2.7 Gaz
Sumber: Ghazbi (2016)



Gambar 2.8 Clockwise
Sumber: Ghazbi (2016)



Gambar 2.9 counterClockwise
Sumber: Ghazbi (2016)



Gambar 2.10 Pitch dan Roll
Sumber: Ghazbi (2016)

Pada *quadcopter*, motor berputar dengan arah yang berlawanan. Dua motor berputar searah jarum jam dan dua motor lainnya berputar berlawanan arah jarum jam. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.7 dalam hal ini operasi tersebut sering disebut dengan *gaz* ketika kecepatan motor berbeda maka akan menjadi operasi *clockwising* dan *counterclockwising* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8 dan 2.9. Pada gambar 2.10 ditunjukkan gerakan *roll* dan *pitch*, *roll* dan *pitch*. *Roll* dan *pitch* dapat terjadi dikarenakan 2 dari 4 motor pada sumbu x berputar dengan kecepatan yang sama.

2.2.2 Elektrokimia

Menurut Crow (1994) elektrokimia berkonsentrasi pada studi tentang pemanfaatan dari perpindahan energi dari satu medium ke medium lainnya. Contoh perpindahan energi dari satu medium ke medium lainnya adalah perpindahan material membran biologi, dan penyimpanan daya baterai.

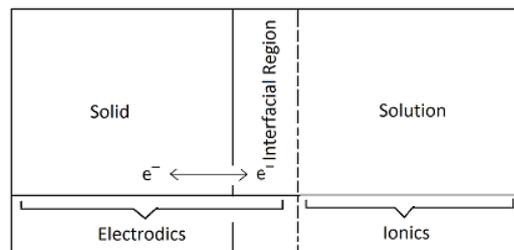
Unit yang sangat penting dalam elektrokimia adalah elektron. Elektron bertugas untuk membawa senyawa ion dalam pertukaran daya antar media. Perpindahan elektron tersebut dipelajari dalam sebuah disiplin ilmu yang dinamakan dengan *thermionics*. Media tempat berpindah elektron adalah senyawa padat yang dimanakan *solid* dan senyawa ionik yang dimanakan *solution*.

Dalam *solid* terdapat media konduktor yang berperan untuk melakukan transfer elektron yang dinamakan dengan elektroda. Reaksi yang berada pada

bagian *solid* dimana terdapat elektroda dapat disebut dengan *electrodics*. Sedangkan reaksi kimia yang berlangsung pada bagian *solution* disebut dengan *ionics*. Reaksi *ionics* dapat terjadi karena mendapat *supply* elektron terlalu banyak sehingga membentuk ion negatif dan ion positif. Melalui penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa reaksi *electrodics* berkonsentrasi dengan transfer energi untuk memindahkan elektron. Dan Reaksi *ionics* berkonsentrasi pada perilaku ion yang berada pada *Solution*.

Dalam melakukan transfer elektron akan kurang efektif jika hanya menggunakan *solid* dan *solution*. Dapat dikatakan kurang efektif karena jika hanya menggunakan *solid* dan *solution* akan terbentuk luas medan yang tinggi secara ekstrim. Hal itu disebabkan oleh pembebanan beda potensial yang dapat mengurangi jumlah posisi yang dapat ditempati oleh elektron pada *solution* dan *solid*.

Yang akhirnya akan membatasi transfer elektron antar kedua medium tersebut. Untuk itu dibuatlah sebuah pembatas antar kedua medium tersebut yang dinamakan dengan *Interfacial Region*.

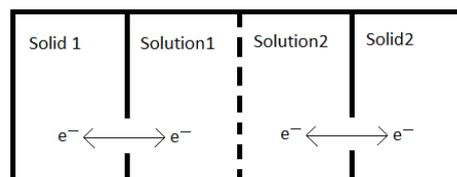


Gambar2.11 Pertukaran Antara Senyawa Elektrodik

Sumber: crow (1994)

Contoh pemanfaatan sel elektrokimia yang paling sering ditemui dalam kehidupan sehari - hari adalah baterai. Terdapat baterai *primer* atau *disposable battery* dan terdapat baterai sekunder yang merupakan *rechargeable battery*. *Disposable battery* dapat dibentuk dari susunan dua buah medium saja yaitu satu *solid* dan satu *solution*.

Sedangkan pada *rechargeable* baterai *solid* dan *solution* disusun sebanyak dua kali dengan susunan $\text{solid1} \leftrightarrow \text{solution1} \parallel \text{Solid2} \leftrightarrow \text{solution2}$, dan direpresentasikan seperti pada gambar 2.12



Gambar 2.12 Penyusunan Umum Sel Elektrokimia.

Sumber: crow (1994)

Secara spontan *rechargeable battery* menghasilkan tegangan terjadi pada antarmuka antar elektroda/solution dengan pemasangan senyawa kimia yang berbeda. Gangguan pada tegangan eksternal dapat membalik proses pengosongan pada *rechargeable cell*. Persediaan energi pada *sector solution* dibawah kondisi elektron tersebut bertukar dan dapat terjadi diantara elektroda dan solution.

2.2.3 Teori Kelistrikan

Pada teori kelistrikan membahas mengenai teori – teori listrik yang berhubungan dengan sistem yang dikembangkan. Pengetahuan yang mendalam tentang teori – teori listrik dalam pengembangan sistem *monitoring* baterai sangat dibutuhkan. Karena acuan sistem dalam *memonitoring* baterai *quadcopter* adalah melihat besaran – besaran listrik yang digunakan pada *quadcopter*.

2.2.3.1 Muatan Listrik

Muatan listrik adalah suatu satuan pengukuran yang menunjukkan jumlah elektron yang mengalir. Muatan listrik dinyatakan dalam satuan *coloumb* dan biasa disingkat (C). Satu *coloumb* setara dengan 6.25×10^{28} . Muatan listrik berhubungan dengan arus listrik. Hubungan tersebut dinyatakan dalam persamaan (2.1)

$$I = Q/t \quad (2.1)$$

Dimana :

- I = menyatakan Arus (*Ampere*)
- Q = Menyatakan muatan (*Coloumb*)
- t = Menyatakan Waktu (detik)

2.2.3.2 Tegangan Listrik

Tegangan merupakan ukuran energi potensial yang terletak antara dua titik. Pada listrik arus searah, terdapat 2 buah muatan yang berbeda, satu muatan bernilai positif dan muatan lain bernilai negatif. Dari perbedaan dua muatan tersebut sering disebut dengan istilah beda potensial.

Tegangan memiliki satuan *volt*, merupakan satuan yang diberikan untuk menghormati jasa penemu teori tentang tegangan listrik yaitu *Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta*. Gaya pada tegangan listrik bisa disebut dengan GGL (Gaya Gerak Listrik) atau dalam bahasa inggris disebut dengan istilah *EMF* (*Electro Motive Force*). Fungsi dari *EMF* adalah memberikann tekanan sehingga arus listrik dapat mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah(dari muatan negatif menuju positif).

2.2.3.3 Arus Listrik

Sirkuit listrik umumnya dibuat dari media yang mampu mengalirkan arus listrik. Elektron akan lebih mudah berpindah pada media konduktif dari pada media isolator. Dengan menggunakan media yang bersifat konduktif maka elektron akan berpindah secara terus-menerus. Perpindahan elektron tersebut disebut dengan arus listrik.

Satuan dari arus listrik adalah *ampere*. Satuan tersebut dipilih untuk menghormati jasa penemu tentang arus listrik yaitu *Andre M. Ampere*. Arus listrik berkaitan dengan jumlah muatan elektron. Seperti yang telah disebutkan dari rumus (2.1) dapat disimpulkan bahwa

$$1 \text{ Ampere} = 1 \text{ coloumb/second.} \quad (2.2)$$

Melalui penurunan rumus (2.1) dapat diketahui bahwa

$$1 \text{ Amper.second} = 1 \text{ coloumb} \quad (2.3)$$

Dari penurunan rumus (2.2) menjadi rumus (2.3) dapat diketahui bahwa jika kita ingin menuliskan satuan kapasitansi muatan suatu sumber listrik, tidak lagi menggunakan satuan *coloumb* yang bernilai 6.25×10^{28} tiap *coloumb*-nya.

2.2.3.4 Hukum Ohm

Setelah mengetahui tentang tegangan dan arus, kemudian pada bab ini membahas mengenai hubungan antara keduanya. Namun untuk mengetahui tentang hukum *ohm* juga perlu mengetahui tentang resistansi atau umunya disebut dengan hambatan.

Menurut Muttaqin (2012) resistansi adalah kemampuan sebuah elemen rangkaian untuk menahan arus listrik. *Resistor* dapat menghambat perpindahan elektron, sehingga dapat mengurangi nilai dari tegangan dan arus sesuai dengan konfigurasi seri atau parallel. Pada rangkaian listrik parallel, tegangan akan bernilai tetap namun arus akan berubah, sedangkan pada rangkaian listrik seri, tegangan akan berubah nilainya dan arus akan bernilai tetap. Jadi kesimpulannya hukum ohm adalah hukum yang menyatakan bahwa akibat dari beda potensial dari dua titik yang terdapat jarak sehingga arus dapat mengalir secara terus-menerus pada suatu penghantar yang memiliki sifat melawan gerakan perpindahan elektron dari potensial tinggi ke potensial rendah.

Tabel 2.1 besaran Hukum Ohm

Besaran	Satuan	Simbol
Tegangan	<i>Volt</i>	<i>E</i> dan <i>V</i>
Arus	<i>Ampere</i>	<i>I</i>
Hambatan	Ω	<i>R</i>

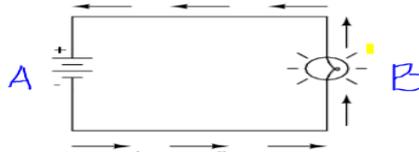
Sumber: Khupaldt (2006)

Tabel besaran hukum *ohm* memuat informasi mengenai satuan serta simbol yang digunakan. Dari tabel tersebut dapat dibuat kedalam bentuk matematis seperti pada persamaan (2.4), (2.5), dan (2.6).

$$V = I \times R \quad (2.4)$$

$$I = V/R \quad (2.5)$$

$$R = V/I \quad (2.6)$$



Gambar 2.13 Cara Kerja Hukum ohm
 Sumber: Khupaltdt (2006)

Melalui ilustrasi dari gambar 2.13 dapat diketahui terdapat tegangan listrik yang ditunjukkan oleh huruf A. Hambatan berupa lampu yang diwakili oleh huruf B, dan arah arus yang diwakili oleh tanda panah. Proses lampu dapat menyala disebabkan oleh gaya gerak listrik atau *electromotive force* yang mengakibatkan arus mengalir melewati penghantar dan beban dari polaritas negatif menuju positif.

2.2.3.5 Daya dan Energi

Dalam analisis sistem yang menggunakan listrik tidaklah cukup jika hanya menggunakan tegangan dan arus, meskipun keduanya merupakan dua satuan yang sangat penting pada disiplin ilmu kelistrikan. Daya dan Energi merupakan satuan lain yang digunakan untuk dapat membantu analisis sistem listrik. Daya adalah energi yang digunakan tiap satuan waktu, dapat dinyatakan kedalam persamaan (2.7) :

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (2.7)$$

Dimana :

- P = Daya (*Watt*)
- W = Energi (*Joule*)
- t = Waktu (*Second*)

Daya listrik memiliki keterkaitan dengan tegangan dan arus, pada persamaan (2.8) berikut ini menyatakan hubungan antara daya dengan arus dan tegangan.

$$P = V \times I \quad (2.8)$$

Kemampuan yang digunakan untuk melakukan usaha atau daya bisa disebut dengan Energi. Energi adalah integral terhadap waktu yang berasal dari satuan daya listrik. Secara matematis daya dirumuskan seperti pada persamaan (2.9) :

$$W = \int P dt \quad (2.9)$$

Dimana :

- W = energi (*joule*)
- P = daya (*Watt*)
- t = waktu (*detik*)

Energi juga memiliki keterkaitan dengan arus dan tegangan. Seperti yang telah dinyatakan pada rumus (2.5) dan rumus (2.6), maka hubungan energi dengan arus dan tegangan dapat dijadikan bentuk matematis seperti pada persamaan (2.10) :

$$W = \int V.I dt \quad (2.10)$$

2.2.3.6 Rangkaian Seri dan Parallel

Terdapat dua jenis konfigurasi dalam rangkaian listrik, yakni rangkaian seri dan parallel. Kedua rangkaian ini memiliki *output* tegangan dan arus yang dapat bernilai beda. Pada rangkaian *parallel* tegangan akan bernilai sama dengan sumber tegangan, namun nilai arus akan berbeda. Pada rangkaian seri nilai dari arus listrik akan sama dan tegangan akan bernilai beda. Jika sumber listrik dirangkai seri maka akan menghasilkan tegangan dan daya yang besar, namun jika salah satu jalur diputus maka semua komponen yang berada pada rangkaian hubung singkat tidak akan berfungsi. Rangkaian *parallel* memiliki keuntungan jika salah satu jalur yang terhubung pada suatu komponen maka komponen lain tidak akan terpengaruh. Perbedaan lain adalah rangkaian parallel memiliki simpul sedangkan rangkaian seri tidak. Namun Keduanya sering dikombinasikan. Contoh komponen semikonduktor yang sering dirangkai seri dan parallel adalah resistor, karean setiap komponen elektronik memiliki resistansi.

Pada sistem yang kompleks rangkaian ini sering disederhanakan agar lebih mudah saat menganalisis. Persamaan matematis rangkaian *parallel* dinyatakan pada persamaan(2.11), sedangkan persamaan matematis rangkaian seri ditunjukkan pada persamaan (2.12).

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_n \quad (2.11)$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (2.12)$$

Setelah mengetahui cara untuk menganalisis rangkaian listrik dari besar hambatan. Tentunya untuk analisis arus pun menggunakan cara yang mirip. Teori tentang rangkaian listrik menyatakan bahwa rangkaian listrik *parallel* akan menghasilkan arus yang nilainya berbeda dan nilai tegangan yang sama. Sedangkan pada rangkaian seri, arus akan menghasilkan nilai yang sama dan menghasilkan tegangan yang bernilai beda. Pada analisis rangkaian dengan menggunakan resistor, rangkaian seri dimodelkan secara matematis seperti pada persamaan (2.11), namun untuk menganalisis arus yang dimodelkan secara seri rangkaian seri digunakan persamaan matematis (2.13), sedangkan analisis arus pada rangkaian parallel dimodelkan kedalam bentuk persamaan matematis (2.14)

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 \dots + I_n \quad (2.13)$$

$$\frac{1}{I_{total}} = \frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2} + \frac{1}{I_3} + \dots + \frac{1}{I_n} \quad (2.14)$$

2.2.3.7 Hukum Kirchoff

Hukum kirchoff merupakan pengembangan analisis arus dan tegangan listrik. Hukum ini ditemukan oleh ilmuwan ahli fisika Jerman yang bernama *Gustav Robert Kirchoff*. Terdapat dua macam hukum kirchoff yaitu *KVL (Kirchoff Voltage Law)* dan *KCL (Kirchoff Current Law)*.

Hukum tegangan kirchoff menyatakan bahwa jumlah aljabar dari nilai tegangan pada arah tertentu yang bernilai 0 dan terjadi pada rangkaian hubung singkat. Hukum *kirchoff* dapat dimodelkan kedalam bentuk matematis, seperti pada persamaan (2.15)

$$V_1 + V_2 + V_3 \quad \sum_{n=1}^N V_n = 0 \quad (2.15)$$

Penting untuk diketahui ketika menganalisis dengan hukum tegangan *kirchoff* adalah menentukan polaritas tegangannya. Nilai positif didapat ketika arah dari analisis searah dengan arah tegangan. Dan nilai negatif didapat ketika arah dari analisis berlawanan arah dengan arah tegangan.

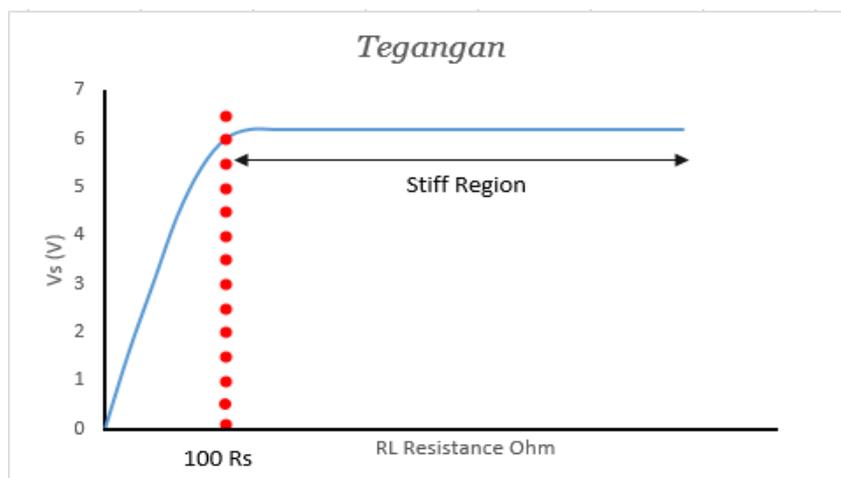
Hukum arus *kirchoff* menyatakan bahwa jumlah aljabar dari arus listrik akan bernilai 0 ketika arus keluar atau arus masuk. Hukum arus *kirchoff* dapat dinyatakan dalam bentuk matematis seperti pada persamaan (2.16).

$$I_1 + I_2 + I_3 \quad \sum_{n=1}^N I_n = 0 \quad (2.16)$$

Sama seperti hukum tegangan *kirchoff* yang harus memperhatikan arah tegangan dan arah analisis. Pada analisis hukum arus *kirchoff* arus yang keluar bernilai negatif sedangkan arus yang mengarah kedalam bernilai positif.

2.2.3.8 Sumber Listrik DC (Direct Current)

Sebuah sumber listrik yang ideal adalah sumber listrik yang mampu memproduksi tegangan beban yang konstan. Tegangan beban akan bernilai konstan karena resistansi beban yang berbeda – beda. Contoh dari sumber listrik ideal adalah baterai yang memiliki resistansi *internal* bernilai 0.



Gambar 2.14 Stiff Voltage
Sumber: Malvino (2014)

Malvino (2014) menyatakan bahwa suatu Tegangan beban dari sumber listrik akan berada pada kondisi stiff ketika resistansi pada beban 100 kali lipat lebih besar daripada resistansi sumber (*Internal Resistance*). Hal tersebut dapat dinyatakan kedalam bentuk matematis pada persamaan (2.17)

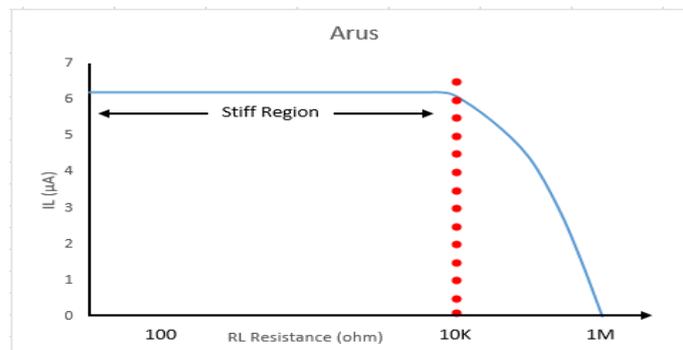
$$Stiff\ Voltage = R_s < 100 R_L \quad (2.17)$$

Dimana :

$R_s = Resistance\ in\ Source/Interal\ Resistance\ (\Omega)$

$R_L = Resistance\ in\ Load\ (\Omega)$

Berbeda dengan tegangan, resistansi beban yang berbeda akan menghasilkan arus beban yang konstan. Gambar 2.15 akan menunjukkan penyebab perubahan dari arus stiff menuju arus yang berubah ubah dikarenakan *internal resistance*.



Gambar 2.15 Current Stiff

Sumber: Malvino (2014)

Gambar 2.15 merupakan grafik yang menunjukkan bahwa ketika resistansi beban suatu sumber listrik bernilai antara 0 hingga 10 K Ω maka nilai arus pada beban akan bernilai konstan, dan apabila nilai dari resistansi beban melibiihi 10 K Ω maka nilai dari arus pada beban akan berubah atau turun. Hal ini dapat dimodelkan kedalam bentuk matematis yang ditunjukkan pada persamaan (2.18).

$$Stiff\ Current = R_s > 100R_L \quad (2.18)$$

Dimana :

$R_s = Resistansi\ sumber/ Resistansi\ Internal\ (\Omega)$

$R_L = Resistansi\ beban\ (\Omega)$

Baterai dapat membuat elektron mengalir pada sebuah rangkaian listrik melalui pertukaran reaksi kimia dan ionik. Karena baterai merupakan sumber listrik *portable* sehingga suatu saat senyawa kimia yang menghasilkan perpindahan elektron-pun juga akan habis. Hukum *coloumb* digunakan sebagai

satuan kapasitas baterai. Tetapi karena terlalu panjang maka disingkat menggunakan rumus yang telah dituliskan pada persamaan (2.2) dan (2.3), sehingga

$$I = \frac{\text{Capacity Rate}}{t} \quad (2.19)$$

$$t = \frac{\text{Capacity Rate}}{I} \quad (2.20)$$

Dengan :

I = menyatakan Arus listrik (*Ampere*)

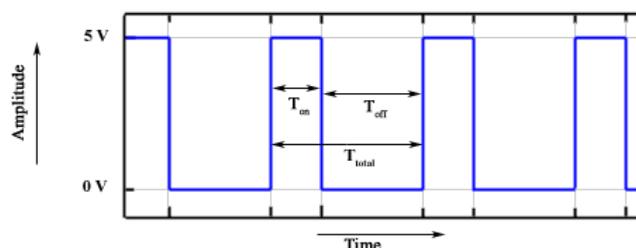
Capacity Rate = menyatakan kapasitas baterai (*mAh*)

t = menyatakan waktu (*second*)

Sebuah baterai yang mengalami pengosongan tidak hanya disebabkan karena energi yang habis, namun juga dipengaruhi oleh *internal resistance*. Selain dapat mempengaruhi pengosongan kapasitas baterai, resistansi juga mampu menyebabkan tidak benarnya nilai pembacaan dari sisa kapasitas baterai. Dan penyebab paling umum naiknya resistansi internal adalah temperatur. Suhu yang panas disebabkan oleh energi yang tidak berpindah secara sempurna, sehingga dapat mengakibatkan rusaknya sel baterai, yang dapat menyebabkan baterai menjadi bengkak dan umur baterai yang berkurang.

2.2.4 Pulse Width Modulation (PWM)

PWM adalah sebuah metode yang digunakan untuk dapat memodulasi lebar pulsa dalam suatu periode, dengan tujuan untuk mendapatkan tegangan rata – rata yang berbeda – beda. Dengan menggunakan *PWM* digital maka nilai dari *PWM* didapat dari resolusi *PWM* itu sendiri. Umumnya *PWM* digital memiliki nilai maksimal 255, nilai 255 didapat dari 2^n , n disini menyatakan nilai bit *pwm*, yaitu 8 bit. 255 menyatakan *duty cycle* yang bernilai anatar 0 – 100 %.



Gambar 2.16 Square Signal PWM

Sumber: Tutorial Points Pvt. Ltd. (2016)

Square signal pada gambar 2.16 menyatakan *duty cycle*, dimana harga Y menyatakan amplitudo yang merupakan nilai tegangan, dan harga X menyatakan waktu yang memiliki satuan detik. Untuk bisa mendapatkan tegangan keluaran, digunakan persamaan matematis (2.17), (2.18), dan (2.19)

$$Time_{total} = T_{on} + T_{off} \quad (2.21)$$

$$Duty\ Cycle = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} \quad (2.22)$$

$$V_{out} = Duty\ cycle \times V_{in} \quad (2.23)$$

Dimana :

T_{on}	= Waktu <i>square signal</i> bernilai 1, atau dalam mode <i>HIGH</i>
T_{off}	= Waktu <i>square signal</i> bernilai 0, atau dalam mode <i>LOW</i>
<i>Duty Cycle</i>	= Resolusi <i>PWM</i> (%)
V_{out}	= Nilai tegangan keluaran dari konversi <i>PWM</i> (volt)
V_{in}	= Nilai tegangan masukan (volt)

Dari persamaan (2.21), (2.22), dan (2.23), nilai *duty cycle* dapat disederhanakan dengan persamaan (2.24). 255 merupakan nilai maksimal dari *pwm 8 bit*, sehingga dapat diketahui bahwa nilai *duty cycle* dari 255 adalah 100%.

$$Duty\ Cycle = \frac{n_{Pwm} \times 100}{255} \quad (2.24)$$

Sedangkan untuk bisa mendapatkan nilai tegangan adalah dengan menggunakan persamaan (2.25)

$$Voltage = \frac{Duty\ Cycle}{100} \times V_{input} \quad (2.25)$$

2.2.5 Kinematika Dalam Satu Dimensi

Kinematika adalah penjelasan mengenai bagaimana sebuah objek dapat bergerak dan berpindah. Salah satu hal yang dibahas dalam kinematika adalah perpindahan posisi yang disebabkan perubahan kecepatan dan perubahan waktu. Perpindahan adalah perubahan posisi sebuah benda dari titik acuan yang merupakan besaran yang mempunyai besar dan mempunyai arah. Waktu merupakan besaran yang menyatakan seberapa lama benda berpindah dari titik acuannya. Dan kecepatan membahas mengenai seberapa cepat sebuah benda dan membahas arah gerakannya. Bentuk matematis dari perpindahan, waktu dan kecepatan dinyatakan pada persamaan 2.26

$$v = \frac{s}{t} \quad (2.26)$$

Dengan :

v = kecepatan rata-rata (m/s)

s = Perpindahan (m)

t = Waktu (s)

2.2.6 Pengiriman Data Melalui Komunikasi *Client Server*

Pada penelitian oleh *celine* (2004) menyatakan bahwa ketika *quadcopter* aktif, secara otomatis akan membuat sebuah *hotspot wifi*. Dengan begitu *client* dapat tersambung dan dapat melakukan komunikasi berupa pengiriman data. Menggunakan setelan pabrik, SSID *AR.Drone Quadcopter 2.0* dapat diinisialisasi melalui "ardrone2_". *AR.Drone Quadcopter 2.0* dapat berkomunikasi melalui

server DHCP dengan IP 192.168.1.1 dan client pertama dengan IP 192.168.1.2. DHCP Server menggunakan 4 buah socket berbeda dengan fungsi berbeda, socket tersebut antara lain adalah UDP 5556, TCP 5555, UDP 5554, UDP 5559. Selain menggunakan DHCP server, *AR.Drone Quadcopter 2.0* juga menggunakan komunikasi dengan FTP server yang akan berjalan pada port 5551. FTP server dapat mengambil data yang tidak dapat diambil oleh *socket DHCP server* sebagai contoh adalah untuk mengetahui versi *quadcopter*.

2.2.6.1 UDP 5556

Digunakan untuk mengirimkan perintah (*command*) pada *quadcopter*, perintah (*command*) yang bisa dilakukan ialah *command sequencing*, *command structure*, *watchdog command*, *the flight mode command*, *the falt trim command*, *the flight move command*, *the control mode command*, dan *the set config value command*.

a. Command Sequencing

Alasan menggunakan command sequence adalah karena untuk mengirim perintah diharuskan mensertakan command sequence. Karena data yang dikirim diolah secara sequencial, sehingga perintah dapat dilakukan secara urut. Perintah pertama yang harus dilakukan adalah mengirim perintah dengan urutan nomer 1. Perintah yang dilakukan harus melakuka *increment* satu kali, dan tidak boleh ada celah sedikitpun pada urutan. Perintah yang yang tidak sesuai akan otomatis diabaikan.

b. Sequence Structure

Untuk menuliskan perintah, harus diawali dengan "AT*" lalu diikuti dengan nama unik dan simbol sama dengan. Setelah sama dengan diikuti dengan parameter yang diapit oleh kurung siku(*brackets*). Untuk mengakhiri perintah harus menggunakan karakter "\r".

2.2.6.2 UDP 5554

Socket UDP 5554 digunakan untuk menampilkan data kondisi navigasi *quadcopter*. Navdata bekerja dengan menentukan antrian data pada port UDP 5554. Struktur penulisan data navigasi pertama adalah dengan cara membawa *section header*, kedua adalah dengan cara mengirimkan *section* jenis lain, terakhir adalah bahwa terdapat nilai *checksum* pada 8 bit terakhir yang dikirim, dengan begitu integritas data dapat dicek.

2.2.6.3 UDP 5559

Data konfigurasi direpresentasikan melalui konfigurasi terakhir yang dilakukan pada *quadcopter*. Hal itu dapat ditentukan menggunakan port data konfigurasi yaitu UDP 5559. Ketika pengguna menginginkan data konfigurasi maka konfigurasi sebelumnya dapat ditentukan. Cara konfigurasi port UDP 5559 dapat ditentukan sebagai *multiline string*. Tiap barisnya dapat menampung satu masukan konfigurasi. *Key* dan *Value* dipecah menjadi bagian yang sama satu sama lain. *Syntax* konfigurasi data pada port UDP 5559 adalah [KEY] = [VALUE].

2.2.6.4 TCP 5555

Data *video streaming* dapat dimunculkan melalui port UDP 5555 atau TCP 5555. Karena sistem akan menggunakan *Parrot AR.Drone 2.0* maka port yang digunakan adalah TCP 5555, karena UDP 5555 hanya digunakan untuk *Parrot AR.Drone 1.0*. Agar mendapat data secara *real-time* maka diperlukan *Keep-alive packets*.

2.2.6.5 FTP Server

FTP Server pada quadcopter menggunakan port 5551. Dengan tidak diketahui data dapat diambil menggunakan server ini, dan file index akan secara otomatis tidak diaktifkan. Apabila pada *DHCP sever* menggunakan 4 port berbeda dengan fungsi berbeda, maka pada *FTP server* dapat digunakan untuk semua fungsi, dan bahkan dapat melakukan fitur yang tidak dapat dilakukan pada *DHCP Server*.