

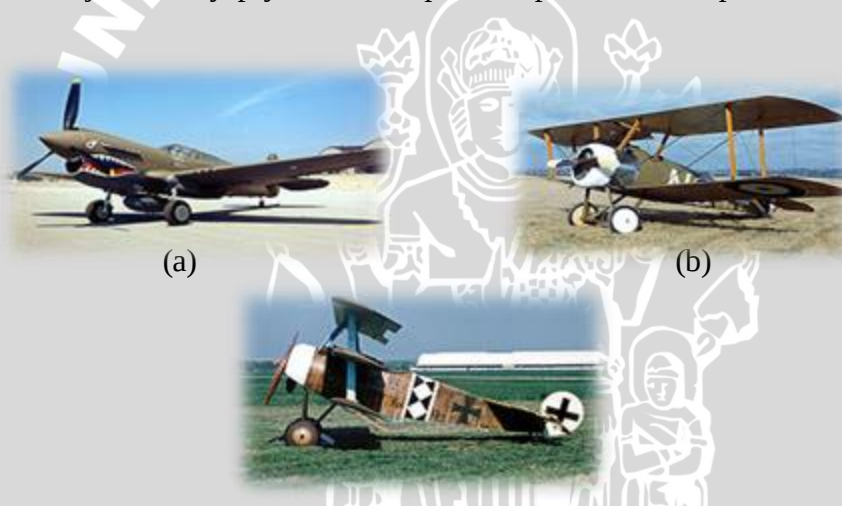
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka memuat uraian secara umum tentang teori dan hasil penelitian terdahulu yang terkait dengan quadcopter. Pembahasan pada bab ini meliputi : definisi umum *aeromodeling*, definisi umum quadcopter, sistem kontrol, dan spesifikasi alat-alat yang digunakan.

2.1 Aeromodelling

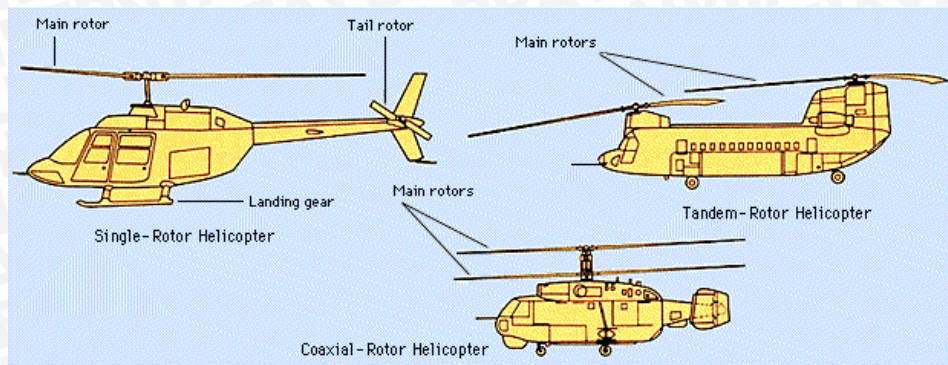
Aeromodelling adalah sebutan untuk dunia miniatur teknologi penerbangan seperti pesawat tanpa awak. Pada dunia penerbangan ada 2 pembagian kategori bentuk yaitu *fixed-wing* dan *rotary-wing*. Pada *fixed wing* terdapat banyak pengelompokan kategori seperti pengelompokan jumlah sayap yaitu : *monoplane*, *biplanes*, dan *triplanes/multiplanes*.



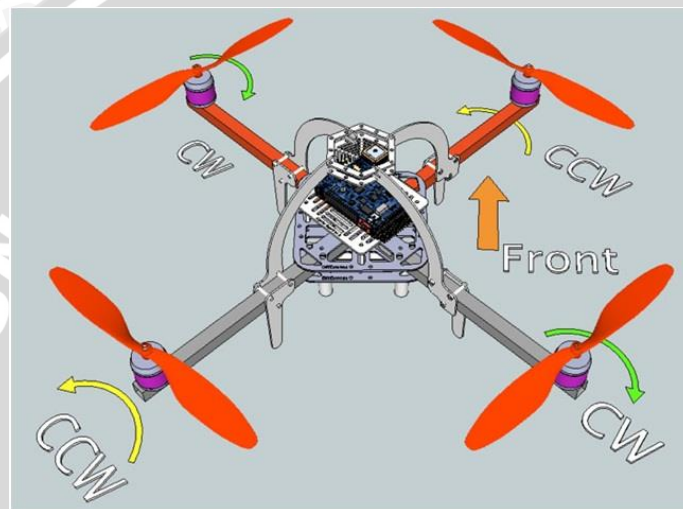
Gambar 2. 1 Jenis-jenis pesawat fixed wing

(a). Monoplane; (b) Biplanes; (c) Triplanes

Rotary wing menggunakan sayap putar berporos untuk mengangkat badan yang diberi, *rotary wing* biasanya diaplikasikan pada helikopter-helikopter. Berdasarkan jumlah motor yang digunakan *rotary wing* memiliki beberapa tipe yaitu : *single rotor helicopter*, *tandem rotor helicopter*, *coaxial rotor helicopter*, dan *multicopter*. Quadcopter termasuk dalam *multicopter* karena jumlah *propeller* utamanya yang lebih dari 2.



Gambar 2. 2 Jenis-jenis helikopter



Gambar 2. 3 Skema terbang quadcopter

2.2 Quadcopter

Quadcopter adalah salah satu jenis *platform* UAV dengan 4 motor *brushless* yang digunakan untuk menggerakkan propeller. Pada penelitian ini, keempat motor *brushless* tersebut disinkronisasi dengan konfigurasi *frameplus* (+). Motor *brushless* bagian depan dan belakang berputar searah jarum jam, sedangkan bagian kanan dan kiri berputar berlawanan arah jarum jam. Berikut gerakan dasar pada quadcopter.

- *Throttle*

Gerak ini dapat dilakukan dengan menaikkan atau menurunkan kecepatan semua propeller dalam jumlah yang sama. *Throttle* digunakan untuk menaikkan ketinggian quadcopter dan juga untuk menurunkan ketinggian quadcopter sehingga quadcopter dapat lepas landas dan mendarat.

- *Roll*

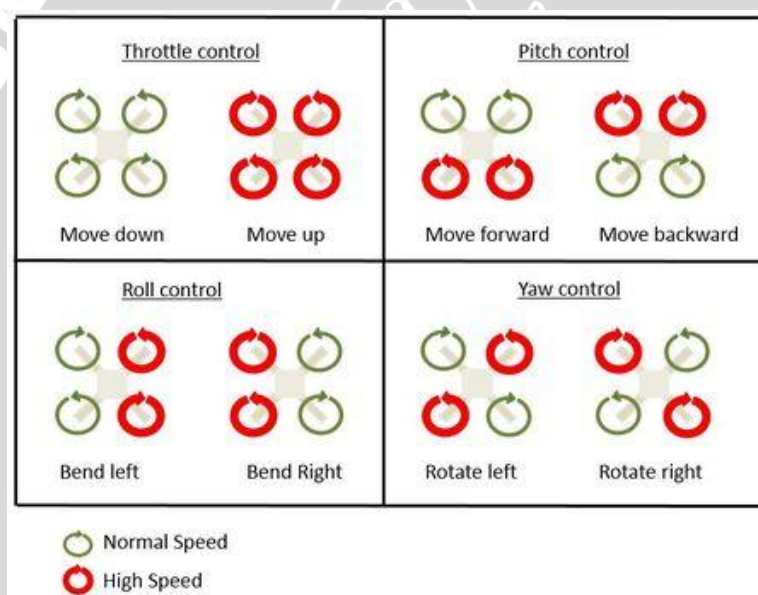
Gerak ini dapat dilakukan dengan menambah atau mengurangi kecepatan salah satu propeller yang kiri atau yang kanan. *Roll* membuat quadcopter menjadi lebih condong ke kanan atau ke kiri sehingga quadcopter dapat bergeser dari posisi awalnya.

- *Pitch*

Gerak ini dapat dilakukan dengan menambah atau mengurangi kecepatan salah satu *propeller*, bagian depan atau belakang. *Pitch* adalah gerakan yang bertujuan untuk memajukan atau memundurkan posisi quadcopter dari titik asalnya atau melakukan putaran secara horizontal.

- *Yaw*

Gerak ini dapat dilakukan dengan menambah atau mengurangi *propeller* depan dan belakang bagian kanan dan kiri secara bersamaan. *Yaw* merupakan gerakan berputar quadcopter yang tegak lurus yang membuat quadcopter menghadap ke arah yang lain



Gambar 2. 4 Skema kontrol pada quadcopter

2.3 Komponen Quadcopter

Secara fisik quadcopter memiliki 2 jenis komponen perangkat keras yaitu komponen elektronik dan komponen mekanik. Komponen mekanik adalah komponen yang menghasilkan gerakan pada quadcopter sedangkan komponen elektronik berfungsi sebagai pusat pengolahan data, input data dan memberikan rangsangan. Contoh dari komponen mekanik adalah rangka, motor *brushless*, dan *propeller*, kemudian contoh dari komponen elektronik adalah mikrokontroller Arduino UNO R3, sensor gyroscope, dan *Electronic Speed Controller* (ESC).

2.3.1 Rangka Quadcopter

Rangka quadcopter yang digunakan dibuat oleh DJI dengan seri *Flame Wheel 450* (F450) yang memiliki spesifikasi seperti berikut :

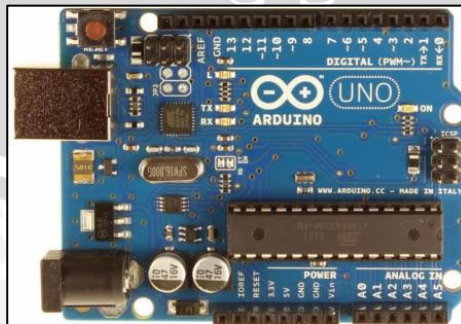
1. *Frame Weight* : 282g
2. *Diagonal Wheelbase* : 450mm
3. *Takeoff Weight* : 800g ~ 1600g
4. *Recommended Propeller* : 10 x 3,8in ; 8 x 4,5in
5. *Recommended Battery* : 22 x 15mm or 22 x 12mm



Gambar 2. 5 Rangka Quadcopter DJI F450

2.3.2 Arduino UNO R3

Arduino Uno adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega328. Uno memiliki 14 pin digital input / output (dimana 6 dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, resonator keramik 16 MHz, koneksi USB, jack listrik, header ICSP, dan tombol reset. Uno dibangun berdasarkan apa yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, sumber daya bisa menggunakan power USB (jika terhubung ke komputer dengan kabel USB) dan juga dengan adaptor atau baterai.



Gambar 2. 6 Arduino Uno R3

Sumber: www.arduino.cc

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino UNO R3

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Sumber tegangan arduino UNO R3 dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan daya eksternal. Eksternal (non-USB) daya dapat berasal baik dari adaptor maupun baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan menancapkan *jack plug* pusat positif ukuran 2.1 mm konektor power. Ujung kepala dari baterai dapat dimasukkan kedalam *ground* dan Vcc pin *header* dari konektor power. Arduino dapat beroperasi dengan catu daya eksternal 6 V sampai 20 V. Namun jika menggunakan lebih dari 12 V, regulator tegangan bisa panas dan merusak papan. Kisaran yang disarankan adalah 7 V sampai 12 V. Arduino juga menyediakan *Software Serial Library* memungkinkan komputer untuk berkomunikasi secara serial pada salah satu pin digital pada *board* arduino UNO R3.

2.3.3 Motor Brushless DC

Motor *brushless* DC (motor BLDC) adalah suatu jenis motor-sinkron. Medan magnet yang dihasilkan oleh stator dan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor berputar di frekuensi yang sama. motor BLDC tidak mengalami *slip*, tidak seperti yang terjadi pada motor induksi biasa. Motor jenis ini mempunyai magnet permanen pada bagian "rotor" dan magnet-elektrik pada bagian "stator"-nya.



Gambar 2. 7 Motor *Brushless* DJI 2212/920Kv

Sumber : dokumen pribadi

Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) adalah salah satu jenis motor yang cukup ringan. BLDC motor digunakan di dunia industri seperti otomotif,, medis, industri dan peralatan instrumentasi. Sesuai dengan namanya, motor BLDC tidak menggunakan sikat atau *brush*. Motor BLDC mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan DC motor dan Motor induksi biasa.

Motor *brushless* DC (BLDC) memiliki kinerja ideal untuk aplikasi yang memerlukan kehandalan yang tinggi, efisiensi tinggi, dan RPM tinggi. Secara umum, performansi tinggi dari motor BLDC yang mampu memberikan jumlah torsi yang besar pada rentang kecepatan yang luas. Motor BLDC adalah turunan dari motor DC umum yang biasa digunakan dan memiliki torsi yang sama tinggi sehingga karakteristik kinerja juga sama.

2.3.4 Sensor GY-521 MPU-6050

GY-521 adalah sebuah modul berinti MPU-6050 yang merupakan 6 *axis Motion Processing Unit* dengan tambahan regulator tegangan dan beberapa komponen pelengkap lainnya yang membuat modul ini siap dipakai dengan tegangan suplai sebesar 3-5VDC. Modul ini memiliki interface I2C yang dapat disambungkan langsung ke MCU yang memiliki fasilitas I2C.

Sensor MPU-6050 berisi sebuah MEMS Akselerometer dan sebuah MEMS Gyro yang saling terintegrasi. Sensor ini terlengkapi dengan fasilitas hardware internal 16 bit ADC untuk setiap kanalnya. Sensor ini akan menangkap nilai kanal axis X, Y dan Z bersamaan dalam satu waktu. Karena sensor GY-521 adalah 16 bit, variasi dari 50 hanya variasi yang sangat kecil.



Gambar 2. 8 Sensor Gyroscope

Sumber : www.arduino.cc

2.3.5 Electronic Speed Controller

Electronic Speed Controller (ESC) adalah sebuah *driver* elektronik yang berperan dalam mengontrol kecepatan motor *brushless* DC pada quadcopter. ESC bekerja apabila telah terhubung diantara motor *brushless* DC dan mikrokontroler Arduino UNO R3. ESC memiliki beberapa kabel penghubung. Ada kabel yang berdiameter kecil, kabel ini dihubungkan ke VCC dari mikrokontroler, ke *ground* (GND) , dan *receiver*. 3 kabel besar lainnya adalah kabel 3 phasa yang dihubungkan langsung ke motor. ESC mulai dapat bekerja apabila menerima instruksi dari mikrokontroler Arduino UNO R3, kemudian instruksi tersebut akan dilanjutkan ke motor *brushless* DC dengan mengatur tegangan masukan ke motor BLDC agar berputar sesuai instruksi yang diberikan.



Gambar 2. 9 ESC ZTW Spider Opto 30A

2.3.6 Baterai

Baterai berfungsi untuk memberikan tegangan untuk seluruh komponen elektrik quadcopter. Pada quadcopter ini baterai yang digunakan adalah baterai Li-Po Zippy 11,1V 2200mAh 3S 30C. Baterai Li-Po merupakan pengembangan teknologi baterai Li-Ion terbaru yang didalamnya terdapat cairan elektrolit ringan *polymer*. Cairan *polymer* ini bersifat seperti penghantar arus yang lebih baik dan lebih cepat dalam proses pengisiannya. Berikut beberapa kelebihan dan kekurangan yang dimiliki baterai Li-Po :

Kelebihan Baterai Li-Po :

- Lebih Aman
- Lebih ringan
- Tahan lama
- Ramah Lingkungan

Kekurangan Baterai Li-po :

- Biaya manufaktur atau produksi mahal
- Sulit ditemukan di pasar
- Harga mahal
- Membutuhkan perhatian khusus ketika mengisi karena rentan meledak



Gambar 2. 10 Baterai Lithium Polimer

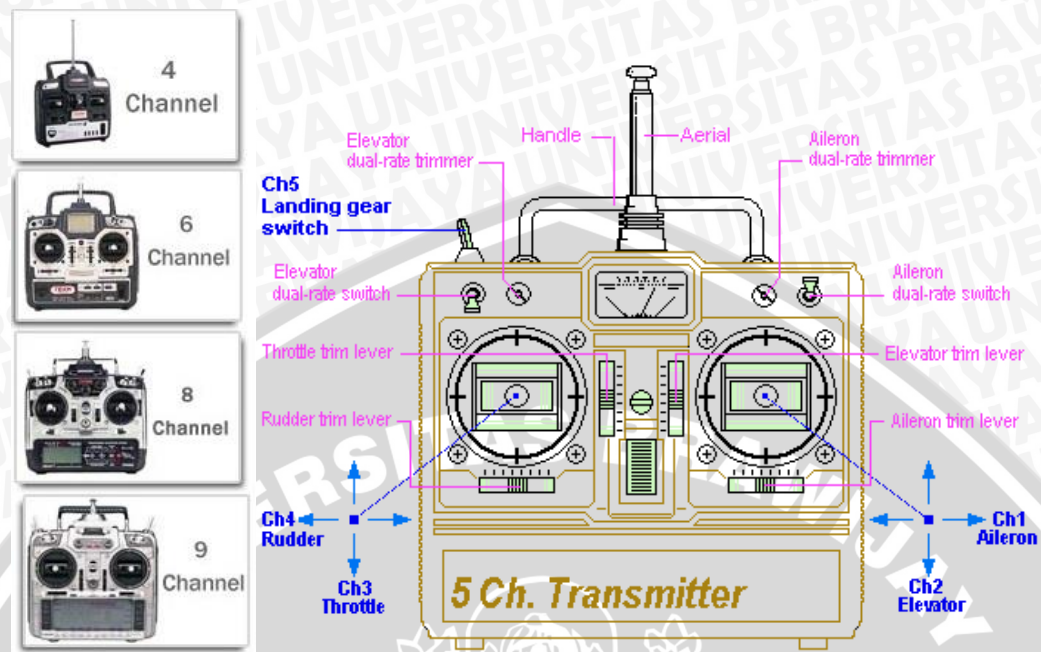
Sumber : www.ebay.com

2.3.7 Remote Control

Sebelum merancang dan membangun quadcopter sebaiknya tentukan terlebih dahulu *transmitter remote control* (RC) yang akan digunakan. RC digunakan untuk mengendalikan quadcopter secara langsung, dengan pancaran gelombang radio yang diterima oleh *receiver* yang kemudian diteruskan ke mikrokontroler. banyak hal yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan RC yang akan digunakan seperti harga, jumlah *channel* yang tersedia, mode, frekuensi dan fitur lain yang dibutuhkan.

Quadcopter memiliki 4 gerakan sehingga setiap channel harus dapat melakukan satu gerakan yang dikendalikan pada quadcopter. Contohnya untuk mengontrol *throttle* kita membutuhkan satu channel, satu channel untuk gerakan *yaw*, satu channel untuk gerakan

pitch, dan satu channel untuk gerakan *roll*. Untuk kasus seperti itu maka RC yang dibutuhkan minimal harus memiliki 4 channel.

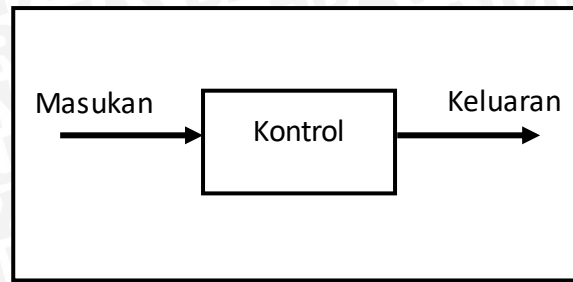


Gambar 2. 11 Channel pada remote control

RC yang biasanya digunakan adalah yang memiliki 4 atau 5 channel yang memiliki kendali untuk semua gerakan quadcopter. Pengontrolan quadcopter melalui RC juga dipengaruhi oleh frekuensi sinyal gelombang radio yang digunakan. Ada 2 tipe frekuensi yang umum terdapat di RC transmitter yaitu 72 Mhz dan 2,4 Ghz. 72 Mhz memungkinkan pengendalian untuk jarak yang jauh, tetapi RC dengan frekuensi tipe ini dapat terganggu dengan pengguna RC lain dengan tipe yang sama. 2,4 Ghz saat ini yang banyak digunakan, karena pada gelombang ini quadcopter dapat terbang dengan quadcopter yang lain tanpa terganggu pengendaliannya. Adapun RC yang digunakan adalah Flysky FS-T6 transmitter panel dan sepaket dengan receivernya yaitu FS-IA6B 6ch receiver.

2.4 Teknik dan Sistem Kontrol

Sistem kontrol merupakan hubungan antara komponen yang membentuk sebuah konfigurasi sistem, yang menghasilkan tanggapan sistem yang diharapkan. Jadi harus ada yang dikendalikan, yang merupakan suatu fisis, yang biasa disebut dengan kendalian (plant).

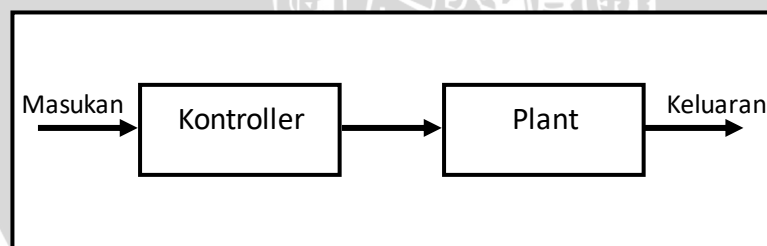


Gambar 2. 12 Input Output Blok diagram

Masukan dan keluaran merupakan variabel atau besaran fisis. Keluaran merupakan hal yang dihasilkan oleh kendalian, artinya yang dikendalikan. Sedangkan masukan adalah yang mempengaruhi kendalian, yang mengatur keluaran. Kedua dimensi masukan dan keluaran tidak harus sama. Sistem kontrol adalah proses pengaturan ataupun pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (variabel, parameter) sehingga berada pada suatu harga atau dalam suatu rangkuman harga (range) tertentu. Sistem kontrol otomatis merupakan suatu sistem dalam proses kerjanya dikendalikan tanpa adanya campur tangan manusia. Ada dua sistem kendali otomatis, yaitu:

2.4.1 Sistem Kontrol *Open Loop*

Sistem pengendalian *loop* terbuka adalah sistem pengendalian yang keluarannya tidak dapat mempengaruhi aksi dari pengendaliannya. Jadi, pada sistem ini keluaran dari kontrolernya tidak diukur atau diumpanbalikkan untuk membandingkan dengan masukkannya (K. Ogata, 1985).



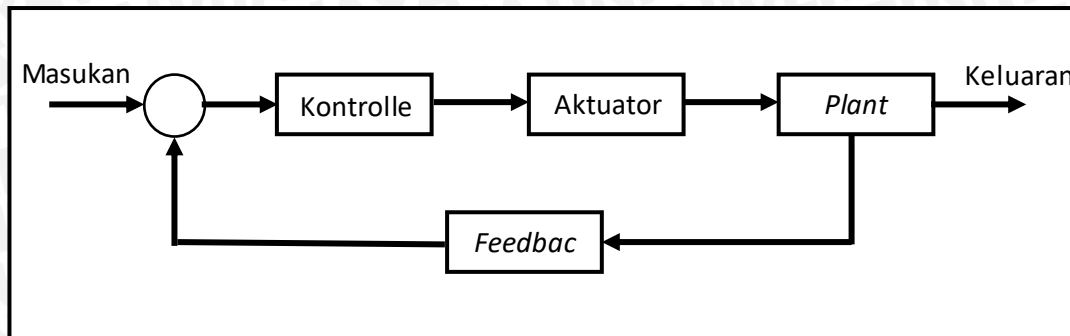
Gambar 2. 13 Diagram Blok Sistem Kontrol Open Loop

Sumber : Asrul (2014)

2.4.2 Sistem Kontrol *Close Loop*

Sistem pengendalian *loop* tertutup adalah sistem pengendalian yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengendaliannya (K. Ogata, 1985). Sinyal error yang merupakan selisih dari sinyal masukan dan sinyal umpan balik (feedback), lalu diumpankan pada komponen pengendalian (controller) untuk memperkecil kesalahan sehingga nilai keluaran sistem semakin mendekati harga yang diinginkan.

Keuntungan sistem kontrol daur tertutup adalah adanya pemanfaatan nilai umpan balik yang dapat membuat respon sistem kurang peka terhadap gangguan eksternal dan perubahan internal pada parameter sistem. Kerugiannya adalah tidak mengambil aksi perbaikan terhadap suatu gangguan sebelum gangguan tersebut mempengaruhi nilai prosesnya.



Gambar 2. 14 Diagram Blok Sistem Kontrol Close Loop

Sumber : Asrul (2014)

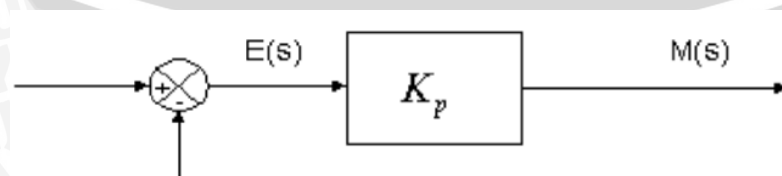
2.4.2.1 Kontrol Proporsional

Pengontrol proposional memiliki keluaran yang sebanding atau proposional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran pengontrol proposional merupakan perkalian antara konstanta proposional dengan masukannya. Sinyal kesalahan (error) merupakan selisih antara besaran setting dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi pengontrol, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian harga setting) atau negatif (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan), yang dapat ditulis sebagai berikut :

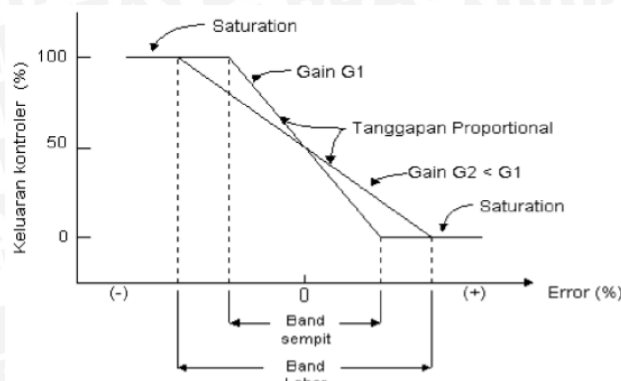
$$m(t) = K_p e(t) \dots \dots \dots (2.2)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \dots \dots \dots (2.3)$$



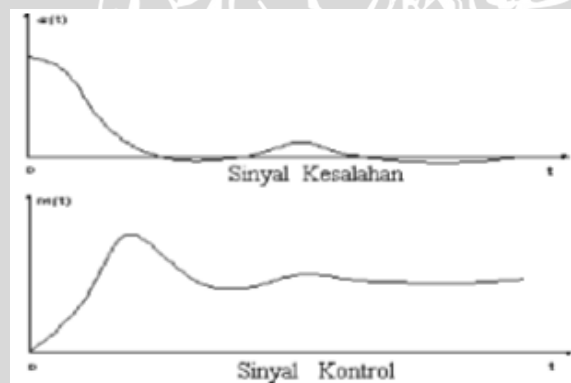
Gambar 2. 15 Diagram blok kontroler proporsional



Gambar 2. 16 Proportional band dari pengontrol proportional tergantung pada penguatan

2.4.2.2 Kontrol Integral

Pengontrol integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan stabil nol. Dengan pengontrol integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan stabilnya nol. Sinyal keluaran akan berharga sama dengan harga sebelumnya ketika sinyal kesalahan berharga nol. Gambar 6.18. menunjukkan contoh sinyal kesalahan yang dimasukan ke dalam pengontrol integral dan keluaran pengontrol integral terhadap perubahan sinyal kesalahan tersebut.

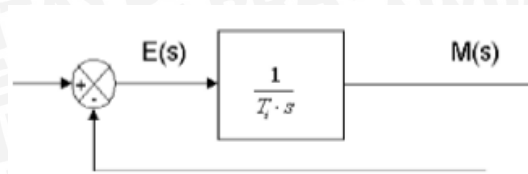


Gambar 2. 17 Kurva sinyal kesalahan $e(t)$ terhadap t pada pembangkit kesalahan nol

Pada kontroler dengan aksi integral, harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$. Jadi,

$$\frac{dm(t)}{dt} = Kie(t) \dots \dots \dots (2.4)$$

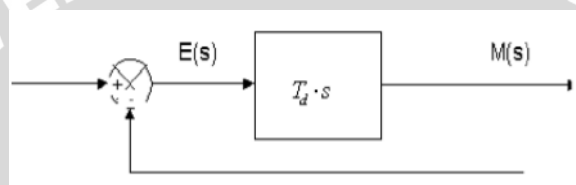
Jika harga $e(t)$ diduakalikan, maka harga $m(t)$ berubah dengan laju perubahan menjadi dua kali semula. Jika kesalahan penggerak nol, maka harga $m(t)$ tetap stasioner. Aksi kontrol integral seringkali disebut kontrol *reset* (Ogata K.,1997).



Gambar 2. 18 Blok diagram hubungan antara besaran kesalahan dengan pengontrol integral

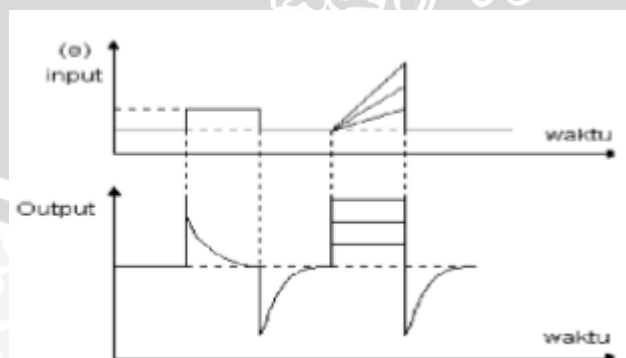
2.4.2.3 Kontrol Derivatif

Keluaran pengontrol derivatif memiliki sifat seperti halnya suatu operasi differensial. Perubahan yang mendadak pada masukan pengontrol, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Gambar 2.19 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara sinyal kesalahan dengan keluaran pengontrol.



Gambar 2. 19 Blok diagram pengontrol derivative

Gambar 2.19 menyatakan hubungan antara sinyal masukan dengan sinyal keluaran pengontrol Derivatif. Ketika masukannya tidak mengalami perubahan, keluaran pengontrol juga tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila sinyal masukan berubah mendadak dan menaik (berbentuk fungsi step), keluaran menghasilkan sinyal berbentuk impuls. Jika sinyal masukan berubah naik secara perlahan (fungsi ramp), keluarannya justru merupakan fungsi step yang besar magnitudnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi ramp dan factor konstanta diferensialnya.



Gambar 2. 20 Kurva waktu hubungan input-output pengontrol Derivatif

Karakteristik pengontrol Derivatif adalah sebagai berikut:

1. Pengontrol ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan pada masukannya (berupa sinyal kesalahan).
2. Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan pengontrol tergantung pada nilai T_d dan laju perubahan sinyal kesalahan. (Powel, 1994, 184).
3. Pengontrol Derivatif mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga pengontrol ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi pengontrol Derivatif dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

Berdasarkan karakteristik pengontrol tersebut, pengontrol Derivatif umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan stabilnya. Kerja pengontrol Derivatif hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu pengontrol Derivatif tidak pernah digunakan tanpa ada pengontrol lain sebuah sistem (Sutrisno, 1990, 102).

2.4.2.4 Kontrol Proporsional Integral Derivatif

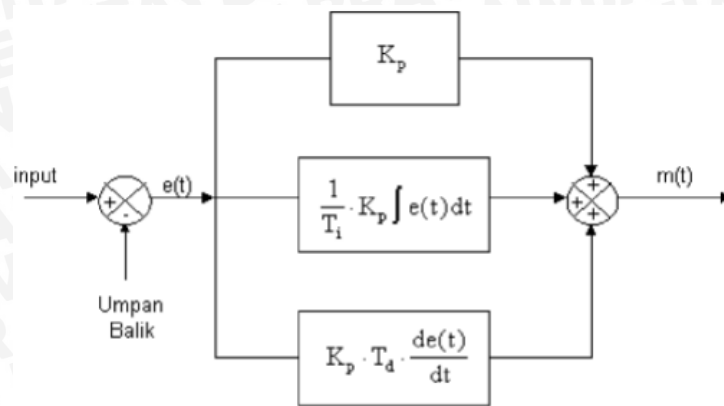
Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing pengontrol P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi pengontrol proposional plus integral plus Derivatif (pengontrol PID). Elemen-elemen pengontrol P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan offset dan menghasilkan perubahan awal yang besar.

Persamaan kontroler PID dalam bentuk Laplace :

$$M(s) = K_c \left(E(s) + \frac{1}{T_i s} E(s) + T_d s E(s) \right) \quad (2)$$

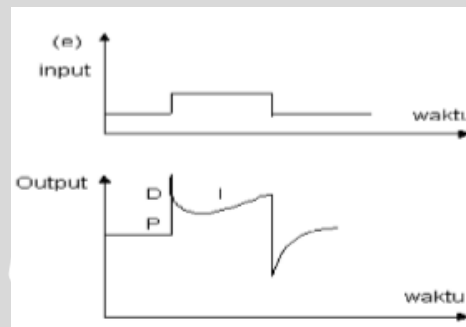
Persamaan kontroler PID dalam waktu kontinyu :

$$u(t) = K_p + e(t) + K_i \int_0^1 e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$



Gambar 2. 21 Blok diagram kontroler PID analog

Keluaran pengontrol PID merupakan penjumlahan dari keluaran pengontrol proporsional, keluaran pengontrol integral. Gambar 6.25 menunjukkan hubungan tersebut.



Gambar 2. 22 Hubungan dalam fungsi waktu antara sinyal keluaran dengan masukan untuk pengontrol PID

Karakteristik pengontrol PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Pengaturan konstanta K_p , T_i , dan T_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat diatur lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan.