

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

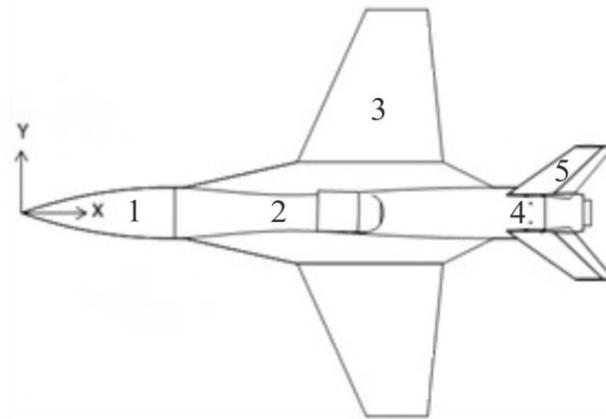
Pada bab ini akan menerangkan teori-teori penunjang untuk merancang sebuah sistem *thrust vectoring* untuk kecepatan sikap roket dan kestabilan roket dengan sistem kendali adapun teori yang akan dipaparkan sebagai berikut.

#### **2.1 Roket Dan Sikap Roket**

Pada umumnya roket adalah sejenis sistem propulsi yang membawa bahan bakar dan oksigennya sendiri. Dorongan pada roket merupakan penerapan yang menarik dari hukum III Newton dan Kekekalan momentum yaitu dengan memancarkan aliran massa hasil pembakaran *propellant*. Roket memiliki tangki yang berisi bahan bakar hidrogen cair dan oksigen cair. Proses pembakaran dilakukan pada ruang tertentu, pembakaran tersebut menghasilkan gas buang yang disalurkan melalui mulut pipa pada ujung roket, maka terjadi perubahan momentum pada gas selama selang waktu tertentu.

Roket elektrik adalah roket yang tidak menggunakan bahan bakar, roket elektrik menggunakan baterai sebagai sumber tenaga untuk meluncur, roket ini meluncur dengan daya dorong dari motor *brushless* yang diatur dengan *driver* motor. Perbedaan roket bahan bakar dengan roket elektrik hanya pada pendorong dan kontrol terbangnya, kebanyakan dari roket bahan bakar diatur pada ujung pengeluaran bahan bakar atau biasa disebut (*nozzle*) sedangkan roket elektrik biasanya menggunakan pin kontrol.

Roket elektrik terdiri dari beberapa bagian penting agar dapat meluncur dengan baik, bagian tersebut antara lain badan roket, kompoen elektronika, dan *firmware*. Berikut ini bagian-bagian badan roket yang di ilustrasikan pada **Gambar 2.1**.



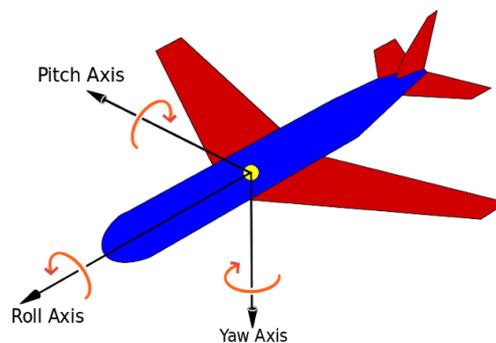
**Gambar 2. 1** *Bagian – bagian pada roket elektrik [2]*

Berikut ini penjelasan dari setiap bagian pada Gambar 2.1

- Hidung roket (*Nose cone*) yaitu ujung roket atau bagian terdepan pada roket yang berbentuk kerucut yang bertujuan untuk memecah angin ketika meluncur.
- Badan roket yaitu tempat menyimpan muatan roket, pada roket elektrik muatan yang dibawa berupa komponen-komponen elektronika dan parasut.
- Ekor roket yaitu ujung dari roket yang diberi sirip sebagai kendali ketika roket terbang. Ekor roket biasanya berukuran lebih kecil dari badan agar roket bisa meluncur lebih cepat.
- Penjelasan bagian nomor 1 pada Gambar adalah bagian *nose* atau bagian depan roket yang berbentuk kerucut yang bertujuan untuk memecah angin ketika meluncur.

- Penjelasan nomor 2 pada Gambar adalah tempat penyimpanan elektronik seperti baterai, mikrokontroler, esc dan yang lain nya.
- Penjelasan nomor 3 pada Gambar adalah bagian sirip (*fin*) yang berfungsi sebagai pembentuk titik stabilisasi dari roket. Sirip ini digunakan juga sebagai kontrol *roll* pada saat roket terbang.
- Penjelasan nomor 4 pada Gambar adalah bagian pendorong yang disimpan didalam badan roket.
- Penjelasan nomor 5 pada Gambar sama dengan bagian nomor 3, hanya berbeda penempatannya saja. Pada bagian nomor 5 disimpan di bagian ujung roket untuk kontrol *pitch*.

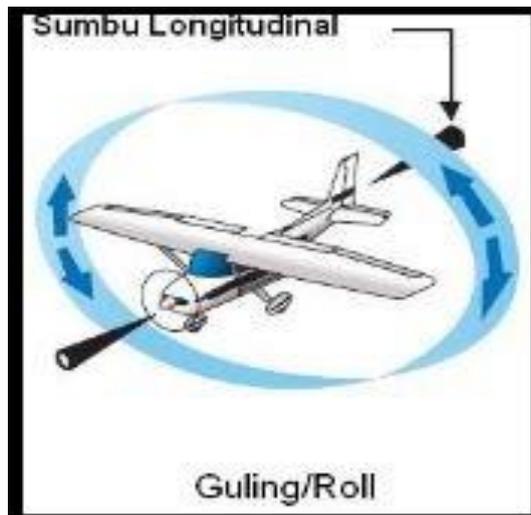
Adapun gerakan yang dihasilkan oleh sirip roket yaitu gerakan *roll*, *pitch* dan *yaw* berikut ini adalah penjelasannya, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



**Gambar 2.2** Tiga sumbu kendali pada roket elektrik [3]

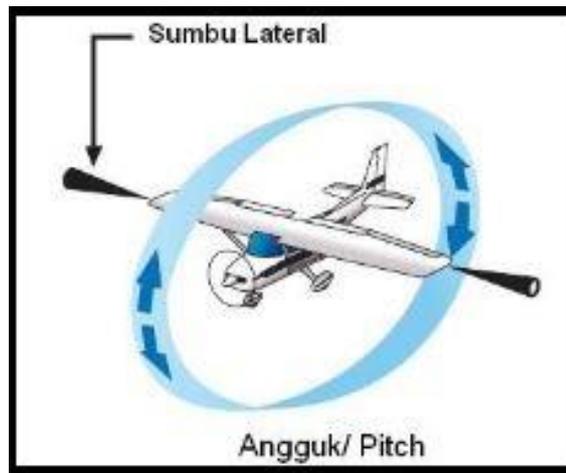
Gerakan kendali *roll* dihasilkan oleh *fin* pada sirip yang berada pada badan roket yang terletak pada bagian sayap kanan dan kiri. Sirip tersebut berfungsi sebagai gerakan *aileron* jika pada pesawat terbang, gerakan *roll* yaitu gerakan yang berorientasi berputar kearah kanan dan kiri [4]. Cara kerja pergerakan *roll* yaitu dengan menggerakkan ujung sirip berlawanan arah, ujung sirip tersebut akan

menjadi pengangkat utama roket. Jadi pada saat *fin* sirip yang satu dinaikan maka *fin* sirip yang satu lagi di turunkan, *fin* sirip yang naik akan terkena angin lalu membuat *fin* sirip tertekan kebawah dan *fin* sirip yang turun akan terkena angin dan membuat *fin* sirip tertekan keatas. Jadi gerakan memutarnya ditunjukkan dengan *fin* sirip yang naik ke atas, jika *fin* sirip pada sayap kanan naik maka roket akan berorientasi memutar kearah kanan begitupun sebaliknya jika *fin* sirip pada sayap kiri naik maka roket akan berorientasi memutar kearah kiri seperti pada **Gambar 2.3**.



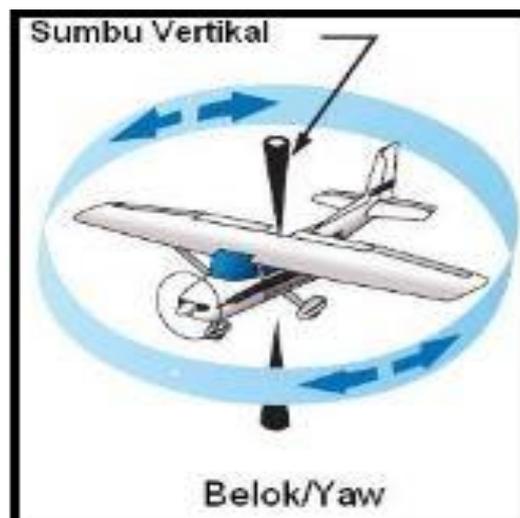
**Gambar 2.3** Gerakan kendali roll [4]

Pada gerakan kendali *pitch* bertujuan untuk mengontrol roket naik dan turun, pada pesawat terbang dikenal dengan kendali *elevator* dimana ketika pesawat akan lepas landas maka *elevator* akan naik dan ketika akan turun mendarat *elevator* akan turun [4]. **Gambar 2.4** menunjukkan pergerakan *pitch*.



**Gambar 2. 4** Gerakan Kendali pitch [4]

Gerakan kendali *yaw* dilakukan oleh sirip pada ekor roket namun yang vertikal dengan badan roket untuk mengarahkan roket ke kiri dan ke kanan dan sebagai stabilitas vertikal pada roket, kendali *yaw* berbeda dengan kendali *roll* karena kendali *yaw* tidak memutar badan roket ke kiri dan ke kanan, sirip tersebut jika pada pesawat terbang dikenal dengan *rudder* [4], berikut ini **Gambar 2.5** menunjukkan pergerakan *yaw*.



**Gambar 2. 5** Gerakan kendali pitch [4]

## 2.2 *Thrust vectoring*

*Thrust vectoring* adalah suatu kemampuan dari pesawat terbang atau roket untuk memanipulasi arah dari daya dorong (*thrust*) yang dihasilkan mesin atau motor penggeraknya, hal ini dilakukan dengan maksud mengendalikan arah atau kecepatan angular roket atau wahana tersebut. Kemampuan *thrust vectoring* dengan cara membelokkan arah angin roket. Roket biasanya menggunakan bilah kemudi aerodinamis biasa seperti *elevator* dan *aileron* untuk berbelok dan berguling. Namun bagi roket dengan kemampuan *vectoring* meskipun masih menggunakan peralatan kemudi yang sama namun bisa membelok dan menanjak dengan sudut lebih ekstrim.

## 2.3 **Komponen Elektorika *Thrust vectoring***

Komponen komponen yang digunakan dalam *thrust vectoring* yaitu motor *brushless*, servo, mikrokontroler, *electronic speed control (esc)*,udukan motor dan baterai adapun penjelasan dari komponen komponen berikut ini.

### 2.3.1 **Mikrokontroler**

Mikrokontroler adalah *processing unit* seperti komputer versi mini dan untuk aplikasi khusus yang dikemas menjadi suatu *integrated circuit*, pada perancangan ini mikrokontroler berfungsi untuk membaca data dari sensor, melakukan perhitungan matematis dan mengendalikan aktuator. Penggunaan utama mikrokontroler adalah mengontrol operasi sebuah mesin menggunakan program yang disimpan dalam ROM dan tidak berubah sepanjang umur sistem tersebut.

Mikrokontroler merupakan komputer didalam chip yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektronik, yang menekankan efisiensi dan efektifitas biaya. Secara harfiahnya bisa disebut “pengendali kecil” dimana sebuah sistem elektronik yang sebelumnya banyak memerlukan komponen-komponen pendukung seperti IC TTL dan CMOS dapat direduksi/diperkecil dan akhirnya terpusat serta dikendalikan oleh mikrokontroler ini [5].

Mikrokonktroler digunakan dalam produk dan alat yang dikendalikan secara otomatis, seperti sistem kontrol mesin, *remote controls*, mesin kantor, peralatan rumah tangga, alat berat, dan lain lain. Dengan mengurangi ukuran, biaya, dan konsumsi tenaga dibandingkan dengan mendesain menggunakan mikroprosesor memori, dan alat input output yang terpisah, kehadiran mikrokontroler membuat kontrol elektrik untuk berbagai proses menjadi lebih ekonomis. Mikrokontroler memerlukan komponen eksternal yang disebut dengan sistem minimum. Untuk membuat sistem minimal paling tidak dibutuhkan sistem clock dan reset, walaupun pada beberapa mikrokontroler sudah menyediakan sistem *clock internal*, sehingga tanpa rangkaian eksternal pun mikrokontroler sudah beroperasi. Yang dimaksud dengan sistem minimal adalah sebuah rangkaian mikrokontroler yang sudah dapat digunakan untuk menjalankan sebuah aplikasi. Sebuah IC mikrokontroler tidak akan berarti bila hanya berdiri sendiri [5].

### **2.3.2 Electronic Speed Control (ESC)**

*Electronic Speed Control* adalah sebuah modul untuk mengontrol kecepatan motor listrik, mengontrol arah putaran motor dan sebagai rem dinamis pada motor listrik. *ESC* biasa digunakan pada model radio yang dikendalikan secara elektrik

dan paling sering digunakan untuk motor *brushless*, pada dasarnya *ESC* terhubung ke kontrol *throttle* penerima atau sering disebut sebagai *receiver* dan memberikan arus pada motor untuk memvariasikan kecepatan motor *brushless*.

Kinerja dari *ESC* sangatlah cepat untuk menghidupkan atau mematikan pulsa pada motor, cepatnya kinerja dari *ESC* dipengaruhi oleh komponen yang terdapat dalam *ESC* itu sendiri, *ESC* menggunakan *microprocessor* sebagai pusat kendali sehingga respon pada *ESC* sangat cepat dan bisa di program juga sesuai dengan kebutuhan.

### **2.3.3 Motor Brushless**

*Motor brushless* adalah jenis motor yang memiliki tiga buah coil yang masing masing memiliki satu kabel. Motor *brushless* ini yang berputar bukanlah bagian coilnya karena coil *brushless* menempel di casing motornya Jadi yang berputar itu adalah magnet nya.

Pada motor *brushless* memiliki bagian *stator* dan *rotor* seperti motor pada umumnya. Berikut penjelasan mengenai *stator* dan *rotor*. *Stator* adalah laminasi besi yang diberi lilitan yang diletakkan pada pusat putaran motor atau inti motor yang diberi lilitan namun lilitan pada motor *brushless* berbeda dengan motor pada umumnya.

Motor pada umumnya memiliki dua keluaran lilitan pada *stator* namun pada motor *brushless* memiliki tiga keluaran lilitan yang terhubung dalam bentuk asterisk atau bintang. *Rotor* adalah bagian luar dari motor *brushless* yang terdiri dari lingkaran logam yang memiliki magnet permanen dua pasang atau lebih

magnet kutub utara (U) dan selatan (S). bahan yang digunakan adalah *Ferrite magnet* atau bahan pembuat magnet permanen.

#### **2.3.4 Motor Servo**

Motor Servo adalah jenis motor DC yang tersusun dari motor DC, *gearbox*, dan potensiometer. Motor servo dalam wahana terbang digunakan untuk sistem aktuator pada *Aileron*, *Elevator* dan *Rudder*. Motor servo terintegrasi dengan *flight controller*, untuk dapat bergerak motor servo memerlukan tegangan dan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk kendali motor servo tersebut. Sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang didapat servo dari *flight controller* merupakan pengolahan data semua sensor yang diolah dan dikeluarkan dalam bentuk sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) agar servo bergerak. Motor servo memiliki banyak jenis tergantung dari torsi atau daya angkat yang dihasilkan oleh motor servo.

Cara kerja dari motor servo bergantung pada nilai yang dihasilkan oleh komponen potensiometer yang akan diubah oleh komponen ADC menjadi data digital. Data tersebut akan dibandingkan dengan sinyal masukan oleh komparator. Hasil perbandingan komparator akan menjadi penentu arah pergerakan motor. Sinyal masukan pada motor servo hampir berkerja sama seperti pada *Electronic Speed Control* (ESC). Hanya saja, pada ESC terjadi perubahan kecepatan motor sedangkan pada motor servo terjadi perubahan sudut.

#### **2.3.5 Battery Lithium-Polimer (Li-Po)**

Baterai adalah perangkat yang mengandung sel listrik yang dapat menyimpan energi yang dapat dikonversi menjadi daya. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia. Baterai atau akumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya

berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia *reversibel* adalah didalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel.

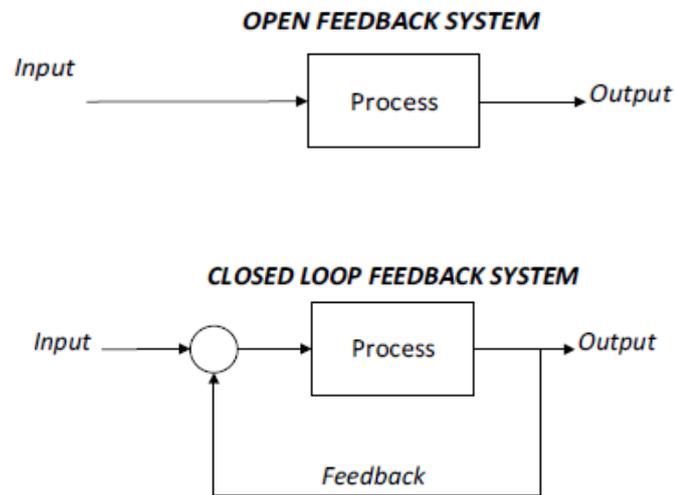
Baterai terdiri dari dua jenis yaitu, baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer merupakan baterai yang hanya dapat dipergunakan sekali pemakaian saja dan tidak dapat diisi ulang. Baterai yang digunakan adalah baterai jenis sekunder yaitu lipo (*lithium polymer*) yang memiliki kelebihan dapat mengeluarkan daya yang besar atau *discharge* yang cepat sesuai dengan keterangan yang tercantum pada baterai lipo.

## **2.4 Sistem Kendali**

Sistem kendali adalah suatu sistem yang mengatur, memerintah dan mengendalikan keadaan satu parameter atau lebih sehingga akan mendapatkan sebuah nilai atau harga pada suatu rangkuman tertentu. Dalam segi peralatan sistem kendali memiliki beberapa aspek fisis yang mengarahkan aliran energi ke suatu mesin sehingga menghasilkan suatu pengendalian yang diinginkan [6].

Pada dasarnya sistem kendali memiliki tujuan utama yaitu untuk mendapatkan nilai dari fungsi sistem kendali itu sendiri yaitu: pengukuran, perbandingan, perhitungan dan perbaikan.

Dalam sistem kendali terdapat 2 sistem kontrol yakni *open loop* dan *close loop* seperti pada **Gambar 2.7**.

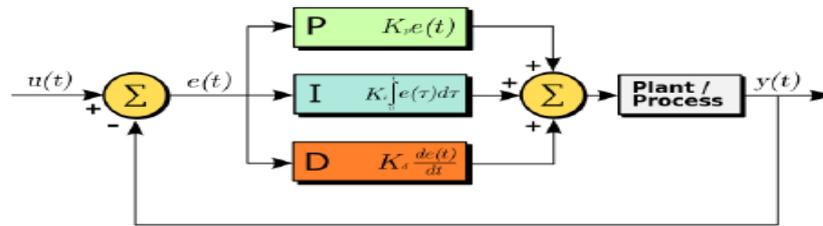


**Gambar 2. 6** Jenis kontrol [6]

Sistem *open loop* memiliki keadaan dimana nilai output atau nilai keluaran tidak berpengaruh terhadap nilai input atau nilai masukkan pada kontrol [6]. Hal ini mengakibatkan nilai dari keluaran sistem hanya akan bergantung pada kalibrasi.

Sistem *close loop* memiliki keadaan dimana nilai output atau nilai keluaran dari sistem memiliki efek timbal balik pada nilai masukkan yang mengakibatkan pengaruh terhadap kontrol pada sistem tersebut [6]. Pada sistem *close loop* memiliki sinyal *error* yang dihasilkan dari nilai perbandingan perbedaan nilai keluaran dan nilai referensi pada sistem.

Ada jenis kontrol pada sistem *close loop* yaitu kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) yang telah umum digunakan pada sistem industri. Pada **Gambar 2.8** adalah Gambar dari blok diagram sistem kontrol PID.

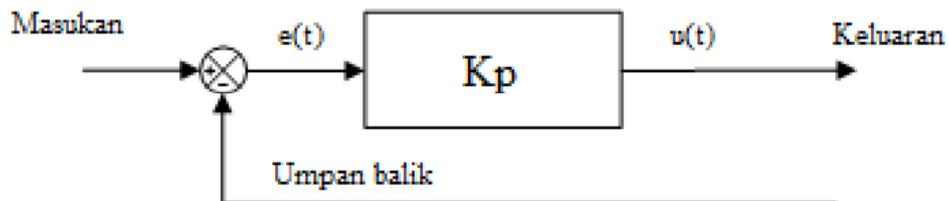


Gambar 2. 7 Kontrol PID [7]

Pada sistem kontrol PID memiliki beberapa komponen yang terdiri dari kontrol *proporsional*, kontrol *integral* dan kontrol *derivatif*. Ketiga komponen ini memiliki peran dan fungsi yang saling terkait satu dengan yang lainnya.

**2.4.1 Kontrol Proporsional**

Pada kontrol *proporsional* ini adalah pembesaran dari sinyal sinyal masukan pada sistem yang menggunakan kontrol *proporsional*, dimana sinyal masukan akan dikalikan dengan nilai konstanta kontrol *proporsional*. **Gambar 2.9** menunjukkan diagram blok kendali proporsional.



Gambar 2. 8 Kendali Proporsional [8]

Hubungan antara output kendali *proporsional*  $u(t)$  dengan sinyal error  $e(t)$  dibuat oleh persamaan:

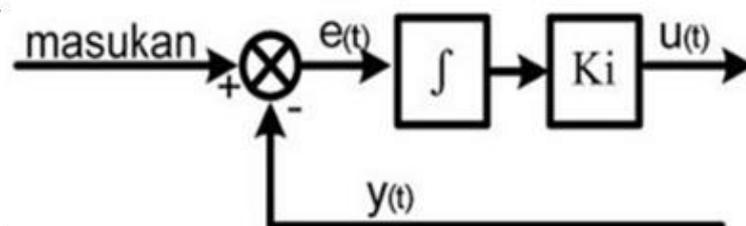
$$u(t) = K_p \cdot e(t) \dots \dots \dots (2.4)$$

Ciri-ciri kendali *proporsional* dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Jika nilai  $K_p$  kecil maka kendali *proportional* hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
2. Jika besar nilai  $K_p$  berlebihan akan menyebabkan ketidakstabilan pada sistem.
3. Seberapa besar nilai  $K_p$  tidak akan dapat menghilangkan *steady state error*.

#### 2.4.2 Kontrol Integral

Suatu sistem yang tidak memiliki kontrol integral akan terdapat *steady-state error* atau nilai *offset*. *Steady-state error* adalah selisih dari nilai referensi dan nilai keluaran pada limit waktu tak hingga. Nilai *offset* menyebabkan sistem tidak dapat diam pada titik referensinya. Kontrol integral digunakan untuk mengeliminasi nilai *offset* pada sistem. **Gambar 2.10** menunjukkan hubungan antara output kendali integral  $u(t)$  dengan sinyal *error*  $e(t)$ .



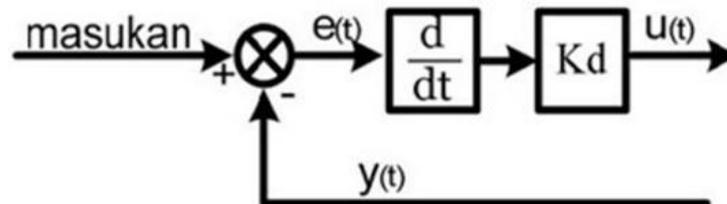
**Gambar 2. 9** Kontrol Integral [8]

Diagram blok di atas dapat diwujudkan dalam bentuk persamaan yang menunjukkan hubungan antara output kendali integral  $u(t)$  dengan sinyal *error*  $e(t)$  sebagai berikut:

$$u(t) = Kt \int_0^t (t)dt \dots \dots \dots (2.5)$$

### 2.4.3 Kontrol Derivatif

Keluaran kendali derivatif memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan pengendali akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat juga pada keluaran. Pada saat kontrol derivatif ditambahkan pada sistem yang menggunakan kontrol proporsional akan menghasilkan kontroler yang memiliki sensitifitas tinggi. Selain itu, kontrol derivatif menggunakan laju perubahan dari sinyal error sehingga kontroler yang dihasilkan dapat menghasilkan nilai koreksi yang signifikan sebelum sinyal kontroler menjadi terlalu besar Diagram blok dari kendali derivatif ditunjukkan oleh **Gambar 2.11**.



**Gambar 2. 10** Kendali derivative [8]

Diagram blok di atas diwujudkan dalam bentuk persamaan yang menunjukkan hubungan antara output kendali integral  $u(t)$  dengan sinyal *error*  $e(t)$  sebagai berikut:

$$u(t) = Kd \frac{de(t)}{dt} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan demikian pada metode ini terdapat tiga aksi kontrol yaitu aksi kontrol proportional dapat meningkatkan kinerja secara maksimum dalam waktu yang cepat. Aksi kontrol integral memiliki kemampuan untuk memperkecil terjadinya error dari aksi proportional. Aksi kontrol derivative memiliki keunggulan untuk memperkecil error dan mengurangi terjadinya overshoot. Aksi kontrol PID beserta fungsinya dapat dilihat pada **Tabel 2.1** berikut.

**Tabel 2.1** Fungsi aksi kontrol pada PID

Pembesaran nilai kontrol	<i>Rise time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling time</i>	<i>Steady-state error</i>
<i>Proportional</i>	Menurunkan	Meningkatkan	Sedikit bertambah	Menurunkan
<i>Integral</i>	Menurunkan	Meningkatkan	Meningkatkan	Menurunkan
<i>Derivatif</i>	Sedikit berkurang	Menurunkan	Menurunkan	Menurunkan

Dalam bentuk idealnya, parameter tiap aksi kontrol yang nampak pada **Tabel 2.1** diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

- *Rise time*: waktu yang diperlukan respondari 0 hingga mencapai 100% (set point)
- *Overshoot*: lonjakan maksimum yang dihasilkan oleh respon
- *Settling time*: waktu yang diperlukan respon untuk stabil antara 95% - 98% dari set point.