

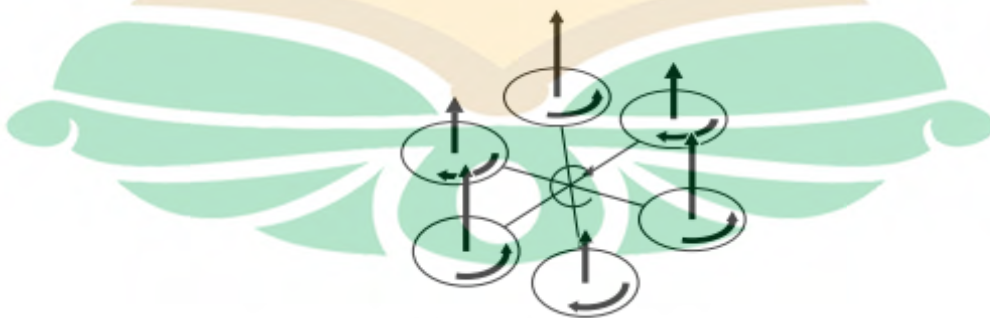
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Drone Hexacopter*

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) memiliki beberapa jenis yang salah satunya disebut *Multicopter* atau biasa disebut *multirotor*. *Multicopter* memiliki lebih dari 2 motor penggerak, merupakan wahana terbang yang mampu melakukan gerakan rotasi dan translasi dengan memberi variasi pada kecepatan rotor untuk menghasilkan gerak yang diinginkan (Zha C. dkk, 2017).

Multicopter terdiri dari dua atau lebih motor penggerak serta kemampuan *take-off* dan *landing* secara vertikal atau biasa disebut VTOL (*Vertical Take-off and Landing*). Perkembangan desain *multicopter* dengan jumlah motor lebih dari *quadcopter* semakin banyak salah satunya *hexacopter* dengan jumlah motor 6 buah. *Hexacopter* dapat mencegah penyimpangan dengan mentoleransi jika terjadi kegagalan dalam salah satu motor serta memiliki kelebihan dalam membawa muatan (*pay-load*) yang lebih dibanding *quadcopter*. Sama halnya dengan *quadcopter*, *hexacopter* memiliki konfigurasi penempatan motor dan arah putaran motor, seperti penyusunan enam motor dengan jarak yang sama dari titik pusat gravitasi *hexacopter* atau *center of gravity* (CG). *Hexacopter* memiliki 3 bagian utama yaitu *landing gear*, lengan, dan plat tengah. Adapun komponen di dalamnya ialah motor *brushless*, *propeller*, kontroler, baterai dan lainnya (Artale, 2013).



Gambar 2.1 Bentuk *Hexacopter* dan Arah Putar Motor (Magnusson,2014)

2.2 Proportional, Integral, Derivative (PID)

Kontroler PID adalah kontroler yang paling banyak digunakan pada sistem kontrol industri kompleks dengan menggunakan jaringan kontrol yang pondasi dasarnya berupa modul kontroler PID (Jhonson,2005). Kendali *Proportional, Intergal, Derivative* (PID) merupakan salah satu metode sistem kendali. Metode ini adalah gabungan dari beberapa kendali diantaranya kendali *proportional*, kendali *integral* dan kendali *derivative*. Kendali *Proportional* pada dasarnya merupakan penguatan *rise-time*. Kendali *Integral* memperkecil error dan kendali *Derivative* meredam *overshot* dan *undershot*. Penggabungan tiga kendali ini disebut PID. *Proportional control* pada dasarnya merupakan penguatan yang dapat diatur. Keluaran pengendali $y(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ direpresentasikan pada Persamaan (2.1) (Sutanto & Tanudjaja, 2017).

$$y(t) = K_p \cdot e(t) \quad (2.1)$$

Integral control menghasilkan respon sistem yang memiliki *steady state error* sebesar nol. Sebuah *plant* yang memiliki unsur *integrator* (1/s), kendali *proportional* tidak dapat menjamin *output* sistem dengan *steady state error* sebesar nol. Nilai *output controller* $y(t)$ pada kendali *integral* diubah dengan laju sebanding dengan sinyal *error* penggerak $e(t)$. *Integral control* direpresentasikan pada Persamaan (2.2).

$$y(t) = K_i \int_0^t e(t) \quad (2.2)$$

Derivative control digunakan untuk mempercepat respon awal suatu sistem tetapi tidak mempertahankan *error* tunaknya. Kendali *derivative* bekerja saat peralihan periode, sehingga biasanya kendali *derivative* digunakan bersamaan dengan kendali lain seperti *proportional*. *Derivative control* direpresentasikan pada Persamaan (2.3) (Sutanto & Tanudjaja, 2017.).

$$y(t) = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.3)$$

Kontroler PID mempunyai keunggulan masing-masing, dimana aksi *proporsional control* dapat mempercepat pencapaian *rise-time*, *integral control* memperkecil *error* dan *derivative control* digunakan untuk meredam *overshoot/undershoot*. Penggunaan sistem kontrol PID memiliki tujuan yaitu

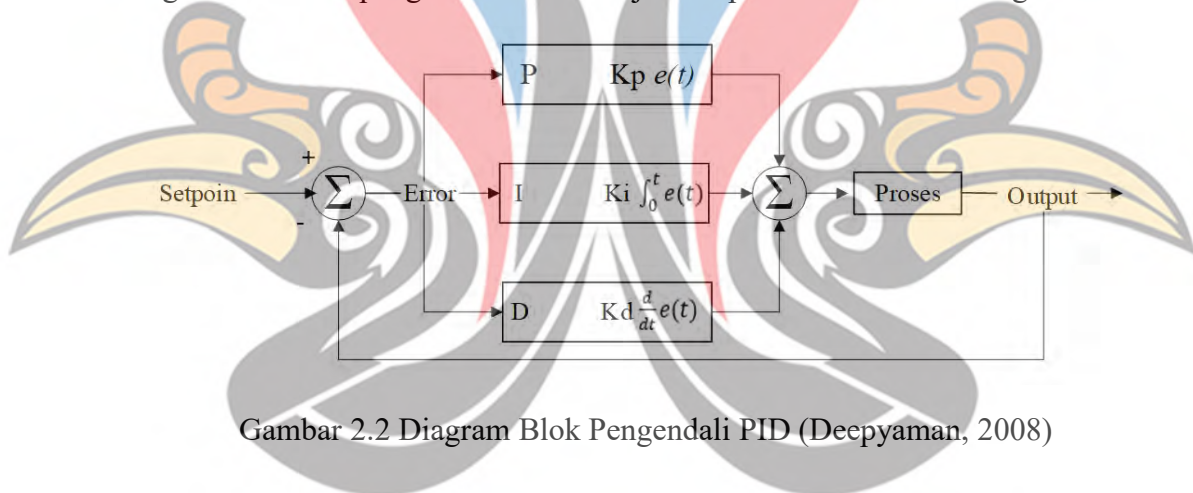
mendapat hasil pengendalian dengan sifat memperkecil *error*, mengurangi *rise-time*, mengurangi *settling time* dan memperkecil *overshoot* (Septiani dkk, 2017).

Karakteristik dari masing-masing parameter sistem kendali ditunjukkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Karakteristik Parameter Kontroler PID (Yuan & Liu, 2012).

Penguatan	Rise-Time (Rt)	Overshoot (Os)	Settling Time (St)	Steady-State Error (SSE)
K_p	Berkurang	Bertambah	Sedikit Berubah	Berkurang
K_i	Berkurang	Bertambah	Bertambah	Hilang
K_d	Sedikit Berubah	Berkurang	Berkurang	Sedikit Berubah

Diagram blok dari pengendali PID ditunjukkan pada Gambar 2.2 sebagai berikut:



Gambar 2.2 Diagram Blok Pengendali PID (Deepyaman, 2008)

2.3 Black-Box Modeling ARMAX

Secara umum untuk melakukan pemodelan suatu sistem dilakukan pemodelan berdasarkan data yang diamati. Pemodelan berdasarkan sifat fisik harus dilakukan untuk berbagai sistem yang *nonlinear* dan dinamis agar perancangan sistem kendali dapat memperoleh hasil sistem kontrol yang optimum dan memiliki efisiensi tinggi. Terdapat dua teknik pemodelan yang biasa dilakukan dalam beberapa penelitian yaitu *black-box* dan *grey-box*. Saat melakukan identifikasi model sistem pada umumnya dilakukan pendekatan menggunakan *grey-box modeling*, dimana digunakan model fisik dari sistem tetapi beberapa parameter diambil dari eksperimen. *Grey-box modeling* dalam penggunaannya, tidak semua

parameter diketahui dan beberapa parameter sistem dilakukan estimasi maupun pengasumsian berdasarkan data eksperimen. Metode identifikasi model sistem lainnya adalah *black-box modeling*, dimana tidak menggunakan batasan fisik karena kurangnya pengetahuan karakteristik proses sistem yang diteliti, sehingga metode ini banyak menggunakan data dari *flight test* langsung untuk memodelkan suatu sistem. *Black-box modeling* merupakan salah satu pendekatan identifikasi yang digunakan ketika tidak ada pengetahuan fisik mengenai suatu sistem. *Black-box modeling* menggunakan data *input* sistem dan respon *output* untuk melakukan pemodelan (Kugelberg, 2016). Ada beberapa metode dalam *black-box modeling* salah satunya adalah *Autoregressive Moving Average eXogenous* (ARMAX).

Pemodelan ARMAX memiliki keunggulan untuk lebih fleksibel terhadap *noise*, *disturbance*, dan penyimpangan lain. Akan tetapi, pemodelan ARMAX adalah *predictor* yang tidak linear terhadap parameternya, walaupun model yang dihasilkan linear antara *input* dan *output*-nya. ARMAX secara luas digunakan dalam proses identifikasi karena kemampuan untuk memperoleh model sistem yang akurat untuk berbagai macam proses sistem (Diversi, 2011).

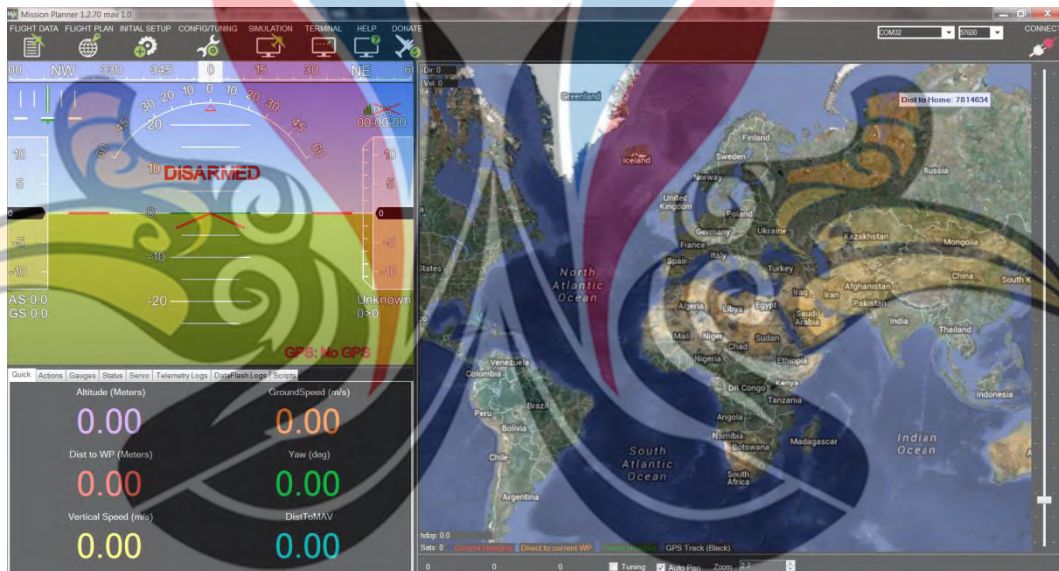
Pemodelan dilakukan dalam sistem *loop* tertutup karena lebih akurat dibandingkan dengan sistem *loop* terbuka. Perhitungan kecocokan (*fitness*) model sistem dapat dilakukan menggunakan *normalized root mean square error*. Estimasi model dianggap mendeskripsikan data dengan baik saat nilai *fit* cukup tinggi (Kugelberg, 2016).

2.4 *Mission Planner Software* (MP)

Ground station software digunakan untuk memonitor tingkah laku UAV ketika sedang beroperasi di udara. Menjalankan misi dapat didefinisikan melalui titik koordinat, dimana titik koordinat tersebut adalah titik observasi misi wahana terbang. Proses *monitoring* dapat diakses menggunakan perangkat *telemetry*, perangkat ini berada di *ground station* sebagai penerima data dari hasil operasi UAV (Adi & Fatwa, 2017).

Mission Planner (MP) merupakan *software open source* yang dapat memprogram UAV menjadi *autonomous* atau *autopilot*. MP digunakan sebagai *control center* dari UAV dalam operasinya, transfer data dan *monitoring* situasi

wahana secara *real-time*. Perintah dapat langsung dibuat melalui *ground station* menggunakan MP yang terhubung perangkat *Telemetry*. Beberapa hal yang menjadi keunggulan dari penggunaan MP adalah dapat melaksanakan misi secara *autopilot*, optimalisasi performa UAV, simpel dalam penentuan perintah misi hanya dengan *point-and-click*. MP menyimpan *log data* hasil misi pada *black-box flight controller* yang mana hal ini dilakukan oleh perangkat *telemetry*. Hasil informasi data *onboard* UAV yang didapatkan kemudian dapat diubah menjadi bentuk grafik langsung melalui MP. Hasil grafik data terbang dapat digunakan untuk berbagai penelitian (Adi & Fatwa, 2017). Salah satu fungsi data yang dapat diubah adalah menghasilkan fungsi alih/transfer fungsi dari UAV menggunakan metode *Autoregressive Moving Average eXogenous (ARMAX)*.



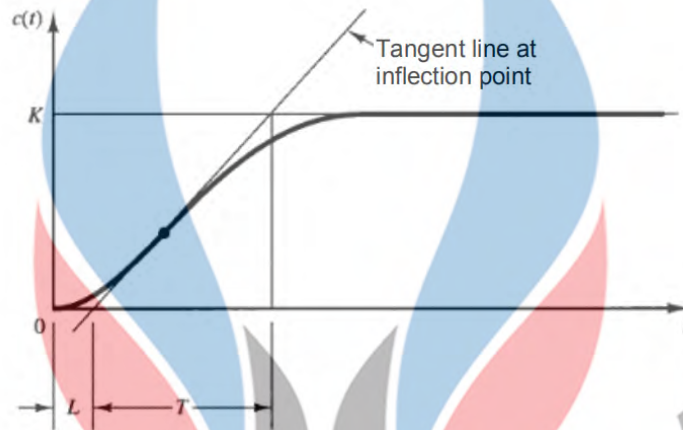
Gambar 2.3 *Mission Planner Software* (Mission Planner, 2020).

2.5 Metode Ziegler-Nichols (ZN)

Ziegler-Nichols atau ZN merupakan metode untuk menentukan nilai dari *gain propotional (Kp)*, waktu *integral (Ti)*, dan waktu *derivative (Td)* atau disebut dengan parameter-parameter PID berdasarkan karakteristik respon sistem dari *plant* yang diberikan. Terdapat dua metode dengan mengikuti aturan *tuning Ziegler-Nichols* yaitu tipe 1 (*open loop*) dan tipe 2 (*closed loop*) (Ogatha, 2010).

2.5.1 Ziegler-Nichols Tipe 1

Metode pertama dilakukan secara eksperimental dengan memberikan *input step* kepada sistem *open loop* sehingga didapatkan respon sistem berbentuk kurva seperti pada Gambar 2.4. Hasil dari *open loop* diperoleh parameter tipe 1 (L dan T).



Gambar 2.4 Perolehan Parameter/Nilai L dan T pada Kurva (Ogata, 2010).

Nilai L dan T yang diperoleh dari hasil respon *open loop* selanjutnya digunakan untuk mendapatkan nilai K_p , τ_i dan τ_d menggunakan persamaan pada Tabel 2.2 (Ogata, 2010).

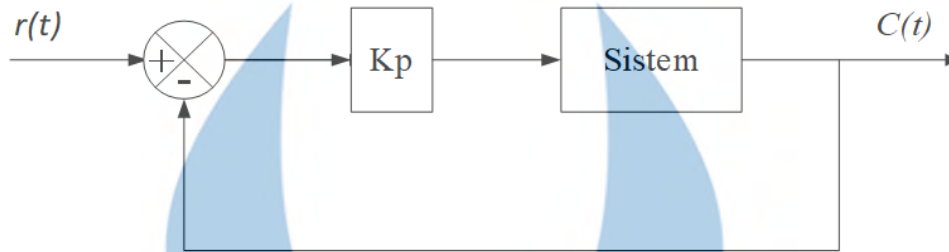
Tabel 2.2 Rumus Parameter Metode ZN Tipe 1 (Ogata, 2010).

Tipe Kontroler	K_p	τ_i	τ_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{T}{0,3L}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

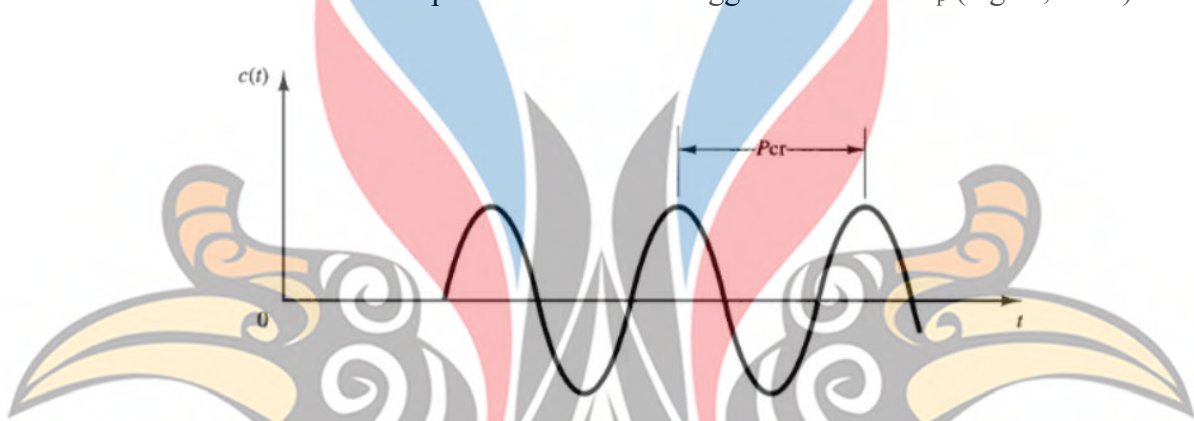
2.5.2 Ziegler-Nichols Tipe 2

Metode tipe 2 dari ZN menggunakan sistem *closed loop*, dilakukan dengan menentukan nilai $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Metode ini hanya memvariasikan nilai K_p dalam sistem hingga mencapai nilai *critical* atau nilai *gain proportional critical* (K_{cr}), K_{cr} merupakan nilai K_p saat respon sistem berosilasi. Parameter lain ialah P_{cr}

yaitu nilai periode osilasi *critical* dari 1 siklus gelombang seperti pada Gambar 2.6 (Ogata,2010).



Gambar 2.5 Sistem Tipe 2 Metode ZN Menggunakan Nilai K_p (Ogata, 2010).



Gambar 2.6 Osilasi Sistem dengan Periode P_{cr} (Ogata,2010).

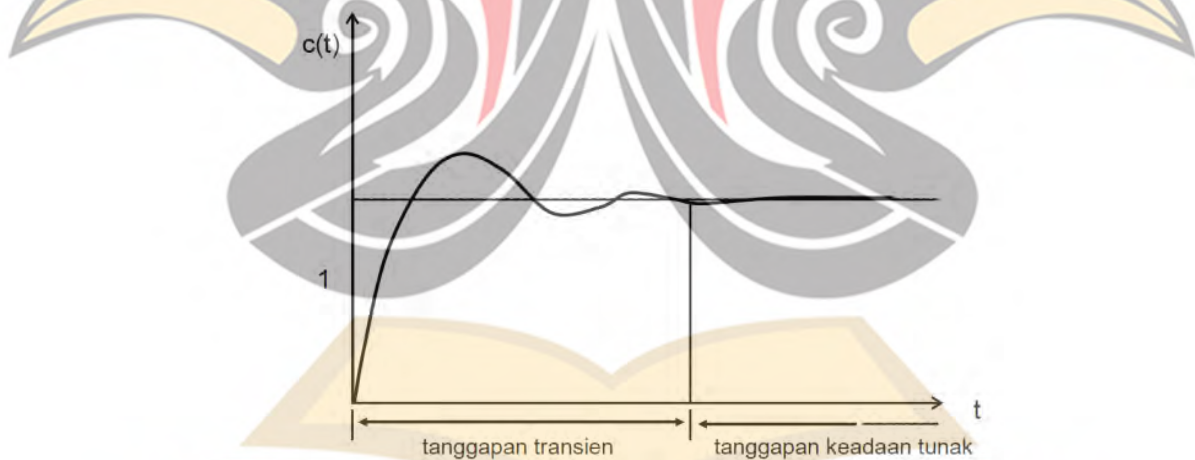
Parameter K_{cr} dan P_{cr} yang telah diperoleh dapat digunakan untuk mendapatkan nilai K_p , τ_i dan τ_d menggunakan persamaan pada Tabel 2.3 (Ogata, 2010).

Tabel 2.3 Karakteristik Parameter Kontroler PID (Yuan & Liu, 2012).

Tipe kontroler	K_p	τ_i	τ_d
P	$0,5K_{cr}$	∞	0
PI	$0,45K_{cr}$	$\frac{1}{1,2}P_{cr}$	0
PID	$0,6K_{cr}$	$0,5P_{cr}$	$0,125P_{cr}$

2.6 Respon Sistem

Respon sistem adalah perilaku *output* terhadap perubahan sinyal *input* dan biasanya menjadi dasar dalam menganalisis karakteristik sistem selain menggunakan model ataupun persamaan matematika (Sutanto & Tanudjaja, 2017). Respon sistem berbentuk grafik. Grafik dapat dilihat setelah adanya sinyal *input*. Respon sistem terbagi menjadi dua *domain*, salah satunya *time response*. *Time response* dari suatu sistem kontrol terbagi dua yaitu respon transien (*transient response*) dan respon tunak (*steady-state response*). Respon transien terjadi saat respon sistem mulai hingga mendekati nilai akhir/*set point*. Sedangkan respon tunak dimulai saat respon sistem pertama kali mendekati nilai akhir/*set point* hingga waktu tak terhingga. *Transient response* digunakan untuk menganalisis sifat permulaan dari sebuah sistem ketika diberi sinyal uji. *Steady-state response* digunakan untuk menganalisis karakteristik sistem pada saat mencapai set point (Azis, 2017). Respon sistem semakin baik ketika respon transien sangat cepat, *error steady-state* sangat kecil, *settling time* sangat cepat, baik dalam performa statis dan dinamis pada suatu sistem (Megayanti dkk, 2018).



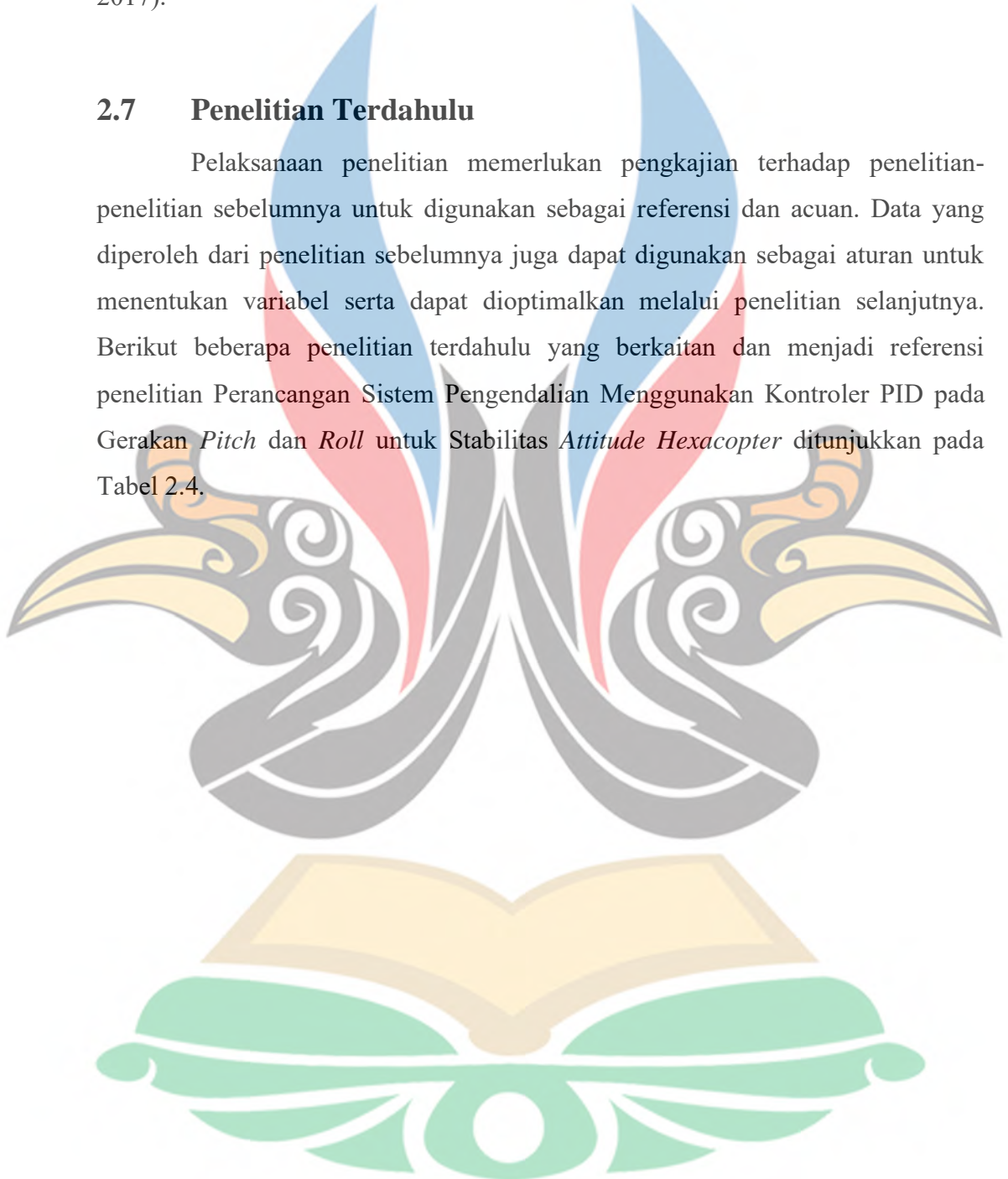
Gambar 2.7 Grafik Respon Sistem *Transient* dan *Steady-state* (Azis, 2017)

Spesifikasi respon sistem ada beberapa macam tetapi yang utama untuk sistem *hexacopter* adalah *Rise-Time* (R_t), *Overshoot* (O_s), *Settling Time* (S_t) dan *Steady-State Error* (SSE). Waktu naik atau *rise-time* waktu untuk naik dari 10% - 90%, 5% - 95%, atau 0% - 100% dari nilai akhir respon sistem. *Overshoot* adalah nilai puncak respon sistem yang diinginkan atau diukur dari nilai akhir respon.

Settling time adalah waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai nilai akhir dari respon sistem dan stabil pada nilai tersebut. *Steady-state error* adalah besar presentase error nilai hasil akhir sistem terhadap nilai sistem yang diinginkan (Azis, 2017).

2.7 Penelitian Terdahulu

Pelaksanaan penelitian memerlukan pengkajian terhadap penelitian-penelitian sebelumnya untuk digunakan sebagai referensi dan acuan. Data yang diperoleh dari penelitian sebelumnya juga dapat digunakan sebagai aturan untuk menentukan variabel serta dapat dioptimalkan melalui penelitian selanjutnya. Berikut beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dan menjadi referensi penelitian Perancangan Sistem Pengendalian Menggunakan Kontroler PID pada Gerakan *Pitch* dan *Roll* untuk Stabilitas *Attitude Hexacopter* ditunjukkan pada Tabel 2.4.



Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

No	Nama Penulis dan Tahun Publikasi	Metode	Judul Penelitian	Plant/Sistem	Pemodelan Sistem	Hasil
1.	Inggrid Kugelberg, (2016)	PID	<i>Black-box Modeling and Attitude Control of a Quadcopter</i>	<i>Quadcopter</i>	Pemodelan Black-Box	pemodelan sistem dengan menggunakan ARMAX dan ARX menunjukkan hasil yang cukup baik untuk merancang <i>Attitude Controller</i> pada <i>Quadcopter</i> dan <i>Hexacopter</i> serta menerapkan pengendalian PID.
2.	Zefang He & Long Zhao (2014)	PID	<i>A Simple Attitude Control of Quadrotor Helicopter Based on Ziegler-Nichols Rules for Tuning PD Parameters</i>	<i>Quadcopter</i>	Pemodelan Fisika	Penerapan metode <i>Ziegler-Nichols</i> dengan kontrol PD mendapatkan hasil yang terbukti dapat meningkatkan stabilitas dan mengurangi <i>noise</i> , memperkecil <i>overshoot</i> dalam hal kestabilan <i>attitude quadcopter</i> .

No	Nama Penulis dan Tahun Publikasi	Metode	Judul Penelitian	Plant/Sistem	Pemodelan Sistem	Hasil
3	Matteo Vanin (2014)	PID	<i>Modeling, identification and navigation of autonomous vehicle</i>	<i>Hexarotor</i>	Pemodelan Black-box	Pemodelan sistem dengan menggunakan <i>engineering tools</i> ARMAX untuk mengidentifikasi dinamika <i>attitude control</i> dari <i>hexacopter</i> menunjukkan hasil <i>fitness/kecocokan</i> pemodelan dengan sistem aktual <i>pitch</i> dan <i>roll</i> berturut-turut adalah 64,78% dan 67,15% dan berhasil maksimal.
4	Sahim Yulidirim	PID	<i>Design and trajectory control of universal drone system</i>	<i>Dodecacopter dan Octocopter</i>	Pemodelan Fisika	Pengaruh perubahan jumlah lengan dan panjang lengan dari <i>multirotor</i> terhadap kestabilan dengan jalur <i>tracking trajectory</i> yang sama. Perubahan panjang lengan tidak berpengaruh terhadap kestabilan wahana.