

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam mendisain sebuah sistem kontrol untuk sebuah *plant* yang parameter-parameternya tidak berubah, metode pendekatan standar dengan sebuah pengontrol yang parameter-parameternya tetap dapat digunakan. Metode pendekatan standar telah teruji dan terbukti dapat menghasilkan sistem kontrol yang baik pada *plant* yang parameter-parameternya tidak berubah. Namun akan sangat sulit untuk mendesain sebuah sistem kontrol dengan menggunakan metode pendekatan standar, pada sebuah *plant* yang kompleks, parameter-parameternya berubah-ubah, dan karakteristiknya dipengaruhi oleh gangguan (*disturbances*) yang bervariasi. Dibutuhkan metode pendekatan lain selain metode pendekatan standar, agar dapat menghasilkan sistem kontrol yang baik pada sebuah *plant* yang kompleks. Sistem kontrol adaptif merupakan salah satu metode pendekatan pengendalian yang dapat digunakan untuk mengontrol *plant* yang kompleks. Sistem kontrol adaptif memiliki pengontrol yang parameter-parameternya dapat diatur dan memiliki mekanisme penyesuaian terhadap perubahan yang terjadi pada parameter-parameter *plant*. Dalam sistem kontrol adaptif, parameter-parameter pengontrol dapat diadaptasi sendiri oleh sistem kontrol dengan proses estimasi parameter atau mekanisme pengaturan. Parameter-parameter *plant* yang diestimasi oleh *estimator* akan digunakan untuk memperbaharui parameter-parameter pengontrol. Oleh karena itu pada sistem kontrol adaptif, ketika karakteristik proses sistem atau karakteristik gangguan berubah, maka sistem kontrol dapat beradaptasi dengan melakukan mekanisme pengaturan terhadap parameter-parameter pengontrol, sehingga didapatkan keluaran sistem yang sesuai dengan referensinya.

Selain teknik kontrol adaptif, teknik kontrol lain seperti *optimal control*, *robust control*, dan *fuzzy control* dapat juga diterapkan untuk membangun sistem kontrol pada *plant* yang dinamik. Namun, dalam mengendalikan *plant* yang beroperasi dalam daerah kerja yang luas, teknik kontrol adaptif dapat menjadi pilihan terbaik dibandingkan dengan teknik kontrol tersebut. Berdasarkan sejarah kelahiran kontrol adaptif, terdapat empat alasan utama mengapa memilih kontrol adaptif untuk mengendalikan *plant* yang kompleks dan dinamik [1, 2, 3, 6, 9, 10, 13]:

- Sistem kontrol yang memiliki performansi tinggi akan membutuhkan pengontrol yang sangat akurat untuk mengendalikan *plant* yang tidak diketahui dan berubah tiap satuan waktu.
- Teknik kontrol adaptif menyediakan sebuah pendekatan yang sistematis, dengan pengertian parameter-parameter pengontrol secara otomatis menyesuaikan terhadap perubahan pada parameter-parameter *plant*.
- Teknik kontrol adaptif dapat dilihat sebagai sebuah pendekatan dari beberapa masalah pengontrolan pada sistem nonlinier stokastik
- Tujuan dari kontrol adaptif adalah untuk mendapatkan dan menjaga tingkat performansi yang diinginkan ketika parameter-parameter *plant* tidak diketahui dan bervariasi.

Pada pembahasan selanjutnya akan diilustrasikan beberapa contoh kasus yang menggambarkan mekanisme-mekanisme yang memunculkan variasi pada dinamika proses dan efek variasi tersebut pada performansi sistem.

1.1.1 Variasi Pada Karakteristik Plant

Metode pendekatan standar yang sering digunakan dalam mendesain sistem kontrol adalah dengan membangun model-model linier untuk beberapa kondisi operasi proses. Selanjutnya berdasarkan pendekatan tersebut akan didesain pengontrol yang memiliki parameter-parameter bernilai konstan. Pendekatan ini telah teruji dan terbukti memberikan hasil yang memuaskan.

Hal yang juga sangat penting dan perlu diperhatikan adalah sistem umpan balik pada umumnya tidak sensitif terhadap kesalahan pemodelan dan gangguan. Pada bagian ini akan diilustrasikan beberapa mekanisme yang memunculkan variasi pada dinamika proses. Selain itu akan ditampilkan juga efek variasi proses tersebut terhadap performansi sebuah sistem kontrol.

1.1.1.1 Aktuator Nonlinier

Aktuator merupakan salah satu sumber utama dari variasi yang terjadi dalam sebuah proses, seperti pada contoh katup berikut ini yang memiliki karakteristik nonlinier [1].

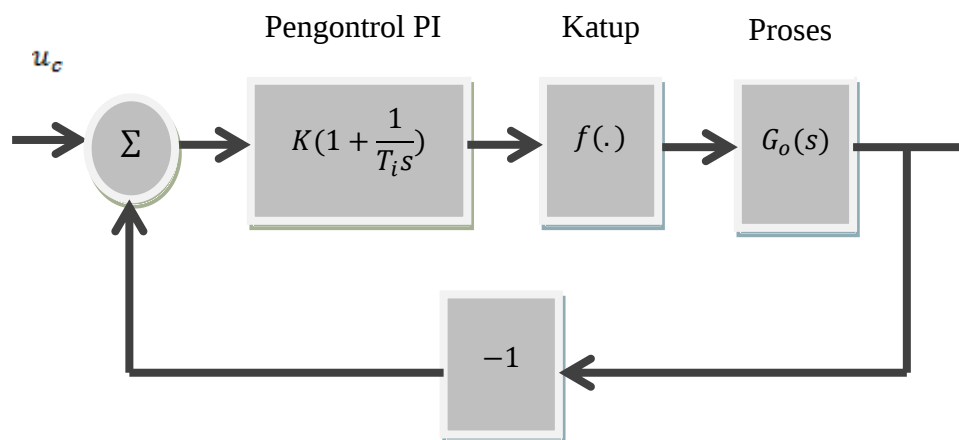
- Katup Nonlinier

Sebuah sistem sederhana yang ditampilkan Gambar 1.1, terdiri atas sebuah lup umpan balik dengan sebuah pengontrol *Proportional* dan *Integrating* (PI), sebuah katup nonlinier, dan sebuah proses. Dalam contoh ini, karakteristik katup dibuat tetap dalam persamaan

$$v = f(u) = u^4 \quad u \geq 0 \quad (1.1)$$

Linierisasi sistem di daerah titik operasi yang *steady state* menunjukkan bahwa penguatan *incremental* dari katup adalah $f'(u)$, oleh karena itu penguatan lup proporsional akan mendekati $f'(u)$. Berdasarkan hasil simulasi sistem katup nonlinier, didapatkan hasil bahwa sistem dapat menghasilkan performansi yang baik pada satu titik operasi, namun performansinya akan memburuk pada titik operasi lain. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan memberikan sinyal kontrol u melalui sebuah *inverse* karakteristik nonlinier dari katup.

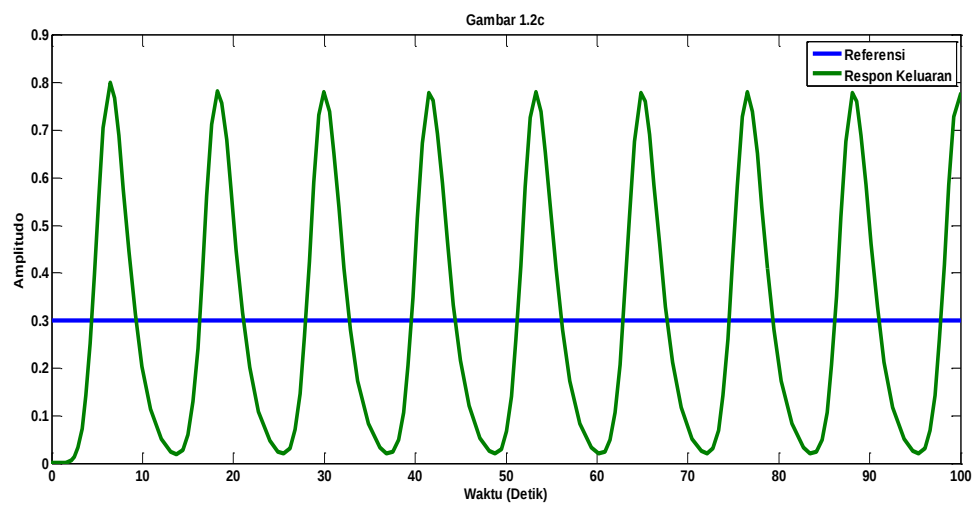
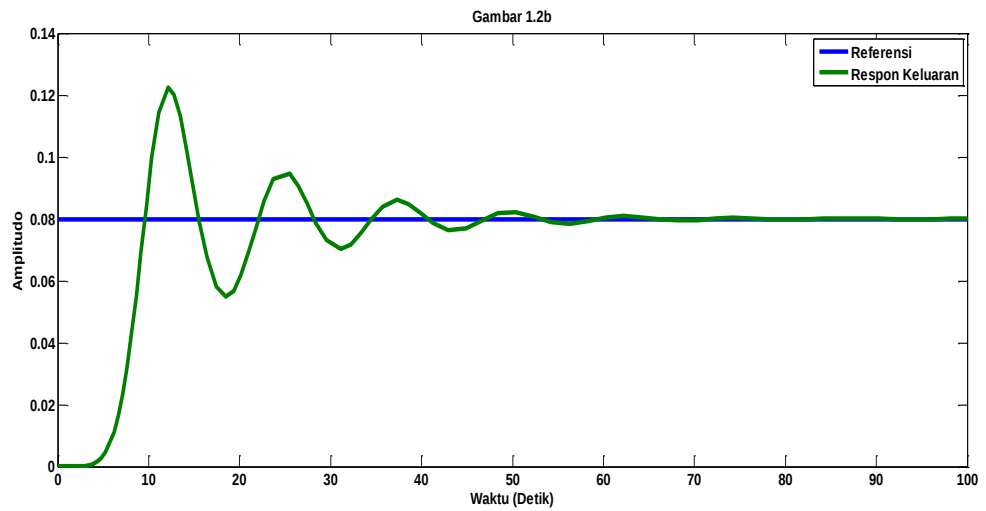
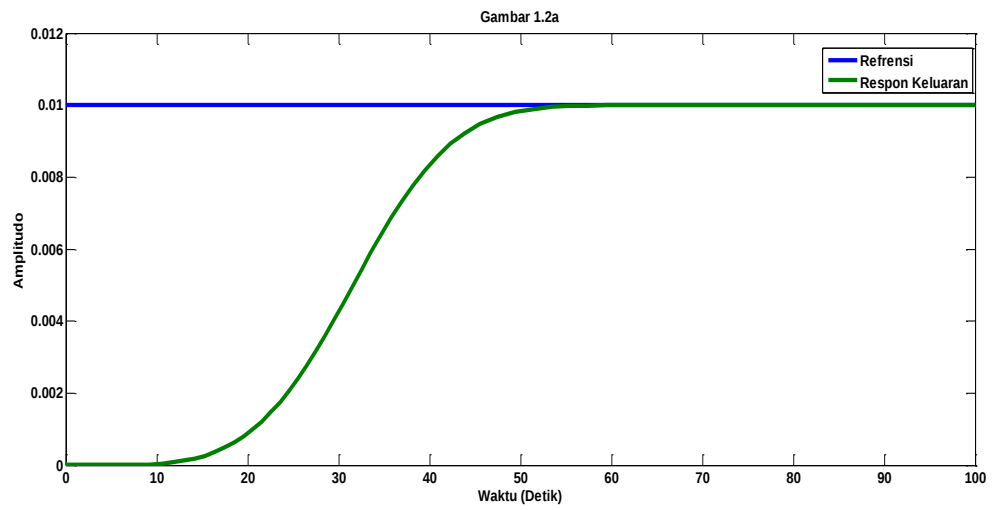
Hasil simulasi sistem tersebut ditampilkan Gambar 1.2, dalam Gambar tersebut ditampilkan respon *step* dari sebuah sistem katup nonlinier. Pengontrol diatur untuk memberikan respon yang baik pada tingkat operasi yang rendah. Sedangkan pada tingkat operasi yang tinggi sistem lup tertutup menjadi tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Dalam kasus sederhana seperti ini, seringkali cukup hanya dengan menggunakan pendekatan sederhana dalam desain kontrolnya.



Gambar 1.1: Diagram Blok sebuah Kontrol Lup Katup Nonlinier.

Pada contoh katup nonlinier ini dilakukan percobaan dengan memberikan masukan *step*. Percobaan dilakukan pada tingkat operasi katup yang berbeda-beda, dengan cara memberikan masukan *step* yang amplitudonya berbeda-beda. Pengontrol PI diatur pada kondisi $K = 0.15$ dan $T_i = 1$, dengan karakteristik prosesnya adalah $f(u) = u^4$ dan $G_o(s) = \frac{1}{(s+1)^3}$.

Respon keluaran dari percobaan tersebut ditampilkan melalui Gambar 1.2, dengan Gambar 1.2a masukannya sebesar 0.01, Gambar 1.2b masukannya sebesar 0.08, dan Gambar 1.2c masukannya sebesar 0.3. Dapat dilihat, bahwa dalam mengendalikan *plant* katup nonlinier tersebut, sistem dengan pengontrol PI tidak selalu stabil untuk mencapai tingkat performansi atau referensi masukan yang diinginkan.



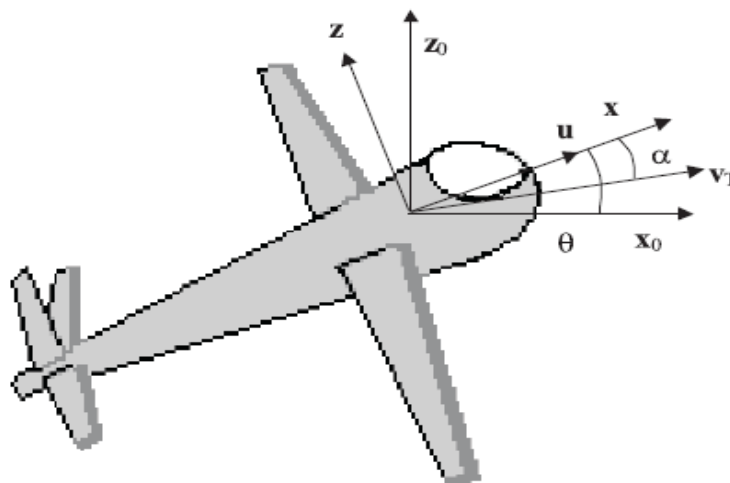
Gambar 1.2: Respon Step dari Kontrol PI pada Sistem Katup Sederhana.

1.1.1.2 Kontrol Penerbangan

Pesawat terbang merupakan salah satu contoh *plant* yang sering digunakan untuk mengiilustrasikan dinamika yang terjadi pada suatu *plant* yang kompleks. Dinamika sebuah pesawat terbang dapat berubah secara signifikan pada parameter kecepatan, ketinggian, sudut terbang, dan parameter-parameter lainnya. Sistem kontrol pesawat dengan pilot otomatis dan stabilitas sistem augmentasi telah digunakan pada pesawat terbang. Sistem kontrol ini berdasarkan pada umpan balik linier dengan koefisien konstan. Dengan menggunakan sistem kontrol ini, pengontrol akan bekerja dengan baik ketika kecepatan dan ketinggian pesawat rendah. Namun sistem ini tidak mampu bekerja dengan baik ketika menemui peningkatan kecepatan dan ketinggian. Masalah tersebut menjadi materi yang sangat diperhatikan pada sistem kontrol pesawat terbang *supersonic*.

Kontrol pesawat terbang merupakan salah satu alasan yang menggerakkan adanya pengembangan dan penelitian teknik kontrol adaptif. Contoh dari Ackermann (1983) berikut, mengilustrasikan variasi dalam dinamika penerbangan yang dapat ditemui. Variasi yang diilustrasikan Ackermann dapat menjadi lebih besar untuk pesawat terbang yang lebih kompleks [1].

- Dinamika Pesawat Terbang Jangka Pendek



Gambar 1.3: Skematik Pesawat Terbang.

Sebuah diagram skematik pesawat terbang ditampilkan Gambar 1.3. Dalam gambar tersebut, diilustrasikan efek dari perubahan parameter-parameter pesawat terhadap *pitch angle* pesawat tersebut. *Pitch angle* dinotasikan dengan θ . Selain itu, dinotasikan juga akselerasi normal pesawat sebagai N_z , tingkat sudut kendali batang $q = \dot{\theta}$, sudut elevasi δ_e sebagai *state variable* dan masukan terhadap servo elevasi sebagai sinyal masukan kontrol u . Model pesawat ini didapatkan dengan mengasumsikan bahwa pesawat dalam kondisi yang kokoh. Selanjutnya keterangan variabel-variabel pada persamaan pesawat terdapat dalam Lampiran B.

$$\frac{dx}{dt} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ 0 & 0 & -\alpha \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} b_1 \\ 0 \\ a \end{pmatrix} u \quad (1.2)$$

Dengan $x^T = (N_z \quad \dot{\theta} \quad \delta_e)$. Model ini merupakan model dinamik dalam periode yang singkat. Parameter-parameter model tersebut bergantung pada kondisi operasi yang terjadi yang dideskripsikan dalam *Mach number* dan jelajah.

Dalam Tabel 1.1 ditampilkan parameter-parameter untuk empat kondisi terbang dari pesawat. Data dalam tabel tersebut merupakan data pesawat supersonik F4-E. Tabel 1.1 juga menampilkan bahwa sistem tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan untuk kecepatan subsonik (FC 1, 2, dan 3) dan stabil tetapi teredam untuk kondisi supersonik FC 4. Oleh karena variasi yang terjadi ini, sangat tidak mungkin untuk sebuah pengontrol dengan parameter-parameter yang sama mengontrol semua kondisi terbang.

Dengan kondisi operasi pesawat bisa didapatkan melalui sensor udara yang dapat mengukur ketinggian dan *Mach number*. Maka parameter-parameter pengontrol dapat disesuaikan terhadap variasi yang terjadi pada kondisi operasi tersebut.

Masih banyak model-model pesawat lain yang lebih kompleks dan perlu untuk diuji. Kondisi badan pesawat mulai dari ukuran, komposisi bahan, dan koefisien elastisitas sayap sangat perlu untuk diperhatikan. Selain itu sinyal perintah dari pilot juga harus dipertimbangkan, sehingga aksi kontrol dapat memberikan respon yang cepat dan tepat.

Berikut ini ditampilkan dalam Tabel 1.1, parameter-parameter untuk empat kondisi pesawat terbang:

<i>Flight Conditions</i>	FC 1	FC 2	FC 3	FC 4
<i>Mach Number</i>	0.5	0.85	0.9	1.5
<i>Altitude (feet)</i>	5000	5000	35000	35000
α_{11}	-0.9896	-1.702	-0.667	-0.5162
α_{12}	17.41	50.72	18.11	29.96
α_{13}	96.15	263.5	84.34	178.9
α_{21}	0.2648	0.2201	0.08201	-0,6896
α_{22}	-0.8512	-1.418	-0.6587	-1.225
α_{23}	-11.39	-31.99	-10.81	-30.38
b_1	-97.78	-272.2	-85.09	-175.6
λ_1	-3.07	-4.90	-1.87	$-0.87 \pm 4.3i$
λ_2	1.23	1.78	0.56	$-0.87 \pm 4.3i$

Tabel 1.1: Parameter-parameter Pesawat dalam Kondisi Terbang yang Berbeda.

1.1.2 Variasi Pada Karakteristik Gangguan

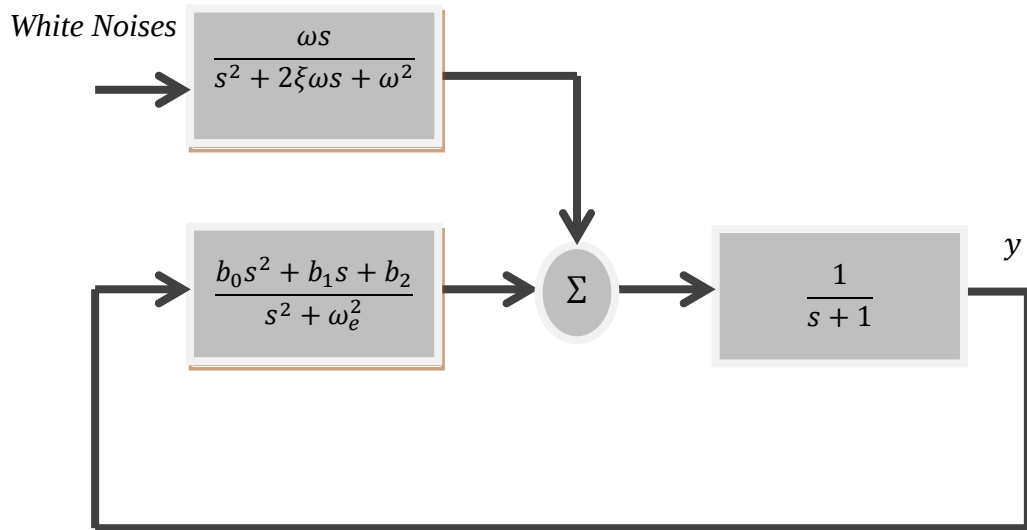
Sebelumnya telah dibahas efek variasi parameter-parameter *plant* terhadap performansi sistem kontrol. Selain mengenai variasi yang terjadi di dalam *plant*, terdapat juga isu yang tidak kalah penting dan perlu diperhitungkan, yaitu variasi pada karakteristik gangguan [1].

- Kemudi Kapal

Masalah utama dalam mendesain sebuah pilot otomatis untuk kemudi kapal adalah untuk mengkompensasi setiap gaya gangguan yang bekerja pada kapal. Gaya gangguan yang bekerja pada kapal biasanya disebabkan oleh angin, gelombang, dan arus. Berdasarkan karakteristik kekuatan dan intensitas timbulnya gangguan, gaya yang dihasilkan oleh gelombang biasanya mendominasi gaya gangguan yang bekerja pada kapal. Pada kondisi cuaca yang berubah secara drastis dari cerah menjadi buruk seperti terjadi badai, kekuatan gangguan yang ditimbulkan oleh gelombang dapat mencapai tingkat yang sangat tinggi dan berbahaya.

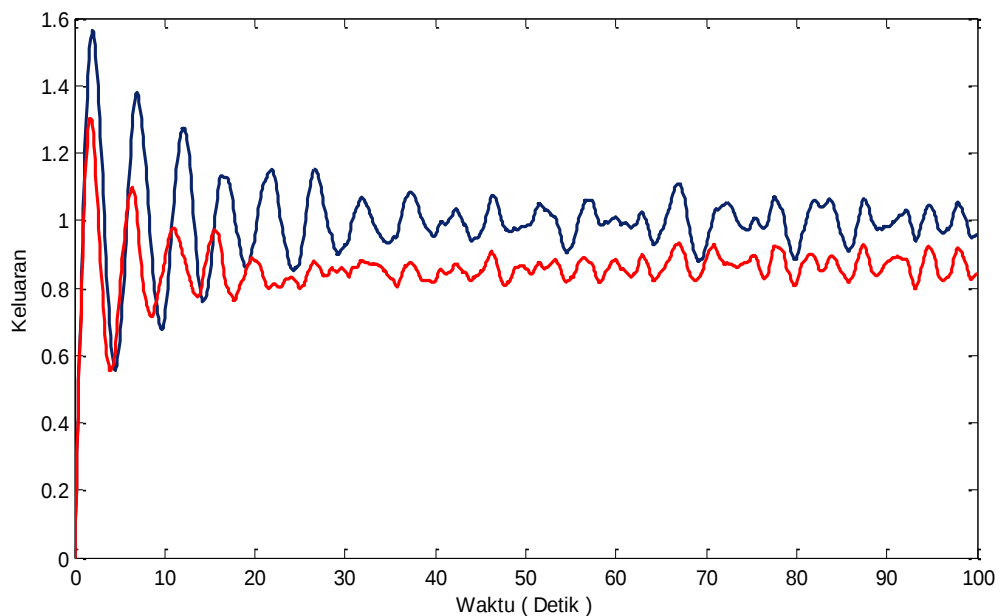
- Regulasi dari Sebuah Variabel dalam Proses Kontrol

Berdasarkan regulasi dari sebuah variabel kualitas pada proses industri dengan gangguan yang karakteristiknya berubah-ubah. Maka dibuat sebuah diagram blok dari sistem tersebut. Selanjutnya akan ditunjukkan bagaimana faktor karakteristik gangguan mempengaruhi performansi sistem. Pada percobaan ini, diasumsikan bahwa gangguan beraksi pada proses masukan. Gangguan disimulasikan dengan mengirimkan *white noise* melalui sebuah filter *bandpass*. Dinamika proses dibuat konstan, namun frekuensi dari filter *bandpass* berubah. Regulasi dapat dilakukan dengan sebuah pengontrol PI, tetapi performansi dapat ditingkatkan secara signifikan dengan menggunakan sebuah pengontrol yang lebih kompleks. Contohnya adalah dengan menggunakan sebuah pengontrol yang dapat disesuaikan dengan karakteristik gangguan.



Gambar 1.4: Diagram Blok Sistem dengan Gangguan.

Gambar 1.5 menampilkan bagaimana kesalahan pengontrolan yang dilakukan oleh sebuah pengontrol di bawah kondisi operasi yang berbeda. Frekuensi tengah dari filter *bandpass* digunakan untuk menghasilkan gangguan ω , dan nilai terkait yang digunakan dalam desain pengontrol adalah ω_c .



Gambar 1.5: Perbandingan Keluaran pada Kondisi Operasi Berbeda, pada saat $\omega = \omega_c = 0.1$ (Biru) dengan $\omega = 0,05$ dan $\omega_c = 0.1$ (Merah).

Dalam Gambar 1.5 ditampilkan kesalahan kontrol yang didapatkan ketika pengontrol disesuaikan terhadap gangguan, yaitu ketika $\omega_c = \omega = 0.1$. Ditampilkan juga apa yang terjadi ketika properti gangguan berubah. Parameter ω diubah menjadi 0.05, sementara $\omega_c = 0.1$. Dapat dilihat, bahwa performansi sistem kontrol memburuk secara signifikan. Agar performansi dapat ditingkatkan, maka pengontrol disesuaikan terhadap kondisi baru tersebut, yaitu menjadi $\omega_c = \omega = 0.5$.

Terdapat banyak masalah praktis lain yang memiliki tipe mirip seperti masalah yang diuraikan di atas, seperti terdapatnya perubahan signifikan yang terjadi pada karakteristik gangguan. Memiliki sebuah pengontrol yang dapat beradaptasi terhadap perubahan pola gangguan merupakan sesuatu yang sangat dibutuhkan, terutama ketika terdapat keterbatasan wilayah pengontrolan atau *dead time* dalam dinamika proses.

Contoh-contoh di atas tadi mengilustrasikan beberapa mekanisme yang dapat membuat variasi dalam dinamika proses. Contoh-contoh tersebut telah menunjukkan secara sederhana mengenai kesulitan yang mungkin terjadi dalam mendesain suatu sistem kontrol. Pada beberapa kasus, contoh-contoh tersebut dapat digunakan secara langsung dengan menggunakan kompensasi nonlinier pada pengontrol, untuk mengurangi variasi yang terjadi pada suatu sistem.

Pada contoh katup nonlinier, umumnya digunakan sebuah kompensator nonlinier pada pengontrol keluaran, yaitu *inverse* dari karakteristik pipa. Sedangkan dalam contoh kontrol sudut *pitch* pada pesawat terbang, untuk mengkompensasi dinamika yang terjadi, dibutuhkan perhitungan kondisi penerbangan secara spesifik. Sedangkan dalam contoh kemudi kapal dan regulasi variabel kualitas pada proses kontrol, terdapat variasi pada karakteristik gangguan. Dengan adanya variasi pada karakteristik gangguan, maka sangat dibutuhkan untuk menghubungkan secara langsung variasi terhadap seberapa besar kuantitas perubahan yang terjadi.

Dalam kasus-kasus seperti yang dijabarkan sebelumnya, sangat baik dan menguntungkan untuk menggunakan teknik kontrol adaptif dalam mendesain sistem kontrolnya.

Dalam prakteknya terdapat sumber-sumber variasi yang berbeda dan terdapat phenomena-phenomena yang berbeda pula setiap saatnya. Hal utama yang menjadi masalah ialah dalam banyak kasus variasi-variasi tersebut tidak sepenuhnya dimengerti. Ketika proses fisik secara baik telah diketahui (seperti pada pesawat terbang), sangat dimungkinkan untuk menentukan parameter-parameter pengontrol yang tepat pada kondisi operasi yang berbeda, dengan linierisasi model dan menggunakan beberapa metode desain kontrol. Ini merupakan cara umum yang digunakan dalam desain pilot otomatis untuk pesawat terbang. Selain itu, terdapat pula teknik identifikasi sistem yang merupakan cara alternatif dalam pemodelan sistem fisik. Namun secara keseluruhan, kedua pendekatan tersebut membutuhkan usaha teknik yang besar juga.

Proses-proses pada industri pada umumnya kompleks dan tidak diketahui secara baik karakteristiknya. Tentunya sangat tidak mungkin dan ekonomis untuk menyelidiki keseluruhan variasi yang terjadi. Pengontrol adaptif dapat menjadi solusi alternatif yang sangat baik dalam kasus ini. Dalam kasus lain, beberapa dinamika proses dapat dimengerti dengan baik, tetapi beberapa dinamika proses lainnya tidak diketahui dan dimengerti. Contohnya pada sistem robot, untuk beberapa segi seperti geometri gerak, motor, dan *gearbox* tidak berubah, namun muatan pada robot dapat berubah. Perubahan yang terjadi seperti ini sangat mempengaruhi performansi sistem robot. Pada kasus-kasus lain yang memiliki masalah seperti ini, sangat penting untuk menggunakan *a priori knowledge* dan estimasi. Teknik-teknik tersebut dimiliki oleh teknik kontrol adaptif yang dapat beradaptasi dengan bagian proses yang tidak diketahui. Jadi alasan-alasan kuat inilah yang menjadikan teknik kontrol adaptif sebagai solusi terbaik.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, tugas akhir ini dibuat untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan terkait kontrol adaptif secara umum. Pertanyaan-pertanyaan mengenai latar belakang munculnya kontrol adaptif, bagaimana sebuah sistem kontrol adaptif bekerja, hingga perkembangan terbaru kontrol adaptif akan dijawab secara teoritis. Penjelasan mengenai latar belakang munculnya kontrol adaptif akan diikuti dengan penjabaran dua konsep utama yang umum digunakan dalam sebuah sistem kontrol adaptif, yaitu *model reference adaptive control* dan *self tuning adaptive control* [1, 2, 3, 6, 9, 10, 13]. Dalam tugas akhir ini, penjelasan akan difokuskan pada konsep *self tuning adaptive control*. Beberapa aplikasi dan teknik kontrol yang dibuat berdasarkan konsep kontrol adaptif juga akan dijelaskan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan mengenai perkembangan terbaru kontrol adaptif.

Masalah lain yang diangkat dalam tugas akhir ini ialah mengenai algoritma-algoritma yang digunakan untuk membangun sebuah sistem kontrol adaptif, terutama algoritma yang digunakan untuk membangun sebuah sistem *self tuning adaptive control*. Dalam tugas akhir ini, penjelasan difokuskan pada algoritma *recursive least squares* dan algoritma *pole placement*. Penjelasan tersebut berupa penjabaran algoritma *recursive least squares* yang digunakan untuk mengestimasi parameter-parameter *plant* dan algoritma *pole placement* yang digunakan untuk mendesain sebuah pengontrol yang tepat [4, 5].

Lebih jauh, untuk melihat bagaimana performansi sistem kontrol adaptif terutama *self tuning adaptive control system* dalam mengontrol *plant* yang berkarakteristik kompleks dan dinamik, maka perlu dibuat simulasi sistem kontrol yang mengendalikan model *plant* yang berkarakteristik kompleks dan dinamik. Simulasi ini akan menjawab dan menjelaskan bagaimana perbandingan respon dari sistem kontrol adaptif dengan sistem kontrol lain yang tidak adaptif.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, dapat dijabarkan permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini meliputi:

1. Bagaimana sejarah kelahiran, konsep, aplikasi, hingga perkembangan kontrol adaptif hingga saat ini.
2. Bagaimana algoritma *recursive least squares* digunakan untuk mengidentifikasi sebuah sistem dan menjadi bagian dari sistem kontrol adaptif.
3. Bagaimana mendesain pengontrol dengan algoritma *pole placement*
4. Bagaimana memodelkan *plant* pesawat terbang yang berkarakteristik dinamik dan digunakan dalam simulasi.
5. Bagaimana performansi sistem kontrol adaptif dibandingkan dengan sistem kontrol tidak adaptif dalam mengontrol *plant* yang berkarakteristik kompleks dan dinamik.

1.4 Tujuan

Tugas akhir ini dibuat untuk menjelaskan konsep dasar dan perkembangan kontrol adaptif secara umum, dengan harapan tugas akhir ini dapat dijadikan sebagai sarana belajar yang tepat dan mudah untuk mempelajari kontrol adaptif. Tugas akhir ini juga bertujuan untuk menjelaskan algoritma *recursive least squares* dan *pole placement* yang digunakan untuk mendesain sebuah *self tuning adaptive control system*. Penjabaran algoritma *recursive least squares*, diharapkan dapat memberikan penjelasan bagaimana sebuah *estimator* dapat mengestimasi perubahan yang terjadi pada parameter-parameter *plant*. Kemudian penjelasan dilanjutkan dengan penjabaran algoritma *pole placement*, penjabaran algoritma *pole placement* ini bertujuan untuk menjelaskan bagaimana mendesain sebuah pengontrol yang tepat.

Tugas akhir ini juga menghadirkan simulasi beberapa sistem kontrol yang dibangun untuk mengontrol sebuah *plant* pesawat terbang yang memiliki karakteristik kompleks. Sistem kontrol yang dibangun dalam simulasi ini adalah sistem kontrol adaptif dengan metode *self tuning adaptive control*, *multi-model adaptive control* dan sistem kontrol tidak adaptif. Simulasi ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas, bagaimana konsep dan prinsip kerja dari sistem kontrol adaptif dengan metode *self tuning adaptive control*. Selain itu, simulasi ini juga dilakukan dengan tujuan untuk dapat menganalisa respon keluaran dan respon transien dari masing-masing sistem kontrol.

1.5 Batasan Masalah

Tugas akhir ini hanya akan membahas secara mendalam sistem kontrol adaptif dengan menggunakan metode *self tuning adaptive control*. Sedangkan aplikasi, perkembangan, dan teknik-teknik kontrol adaptif yang lain hanya akan dibahas secara singkat. Kemudian, pembahasan mengenai teknik *self tuning adaptive control* ini juga hanya akan membahas secara mendalam algoritma *recursive least squares* yang digunakan untuk mengidentifikasi sistem dan algoritma *pole placement* yang digunakan untuk mendesain pengontrol. Sedangkan pembahasan algoritma-algoritma lain hanya akan dibahas secara singkat.

Tugas akhir ini juga akan menghadirkan simulasi beberapa sistem kontrol dalam mengontrol *plant* yang berkarakteristik kompleks. Sistem kontrol yang akan dibangun dalam simulasi ini hanya sistem kontrol adaptif dengan metode *self tuning adaptive control*, *multi model adaptive control* dan sistem kontrol tidak adaptif. Kemudian, *plant* yang digunakan adalah *plant* pesawat terbang yang dimodelkan berdasarkan sebuah sistem fisik pesawat terbang komersil dan beberapa asumsi. Untuk menghasilkan dinamika atau perubahan karakteristik *plant* yang dikontrol, maka *plant* pesawat terbang ini dimodelkan dalam beberapa kondisi operasi. Model-model pesawat terbang dalam kondisi operasi yang berbeda ini dibangun hanya berdasarkan faktor perubahan massa pesawatnya saja.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini disusun dalam 5 bab, berikut ini sistematika penulisannya:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Pada Bab I dalam tugas akhir ini akan dibahas terlebih dahulu mengenai latar belakang munculnya kontrol adaptif. Pembahasan mengenai latar belakang munculnya kontrol adaptif ini meliputi alasan-alasan utama dikembangkannya teknik kontrol adaptif dan beberapa contoh praktis yang menggambarkan ketidakmampuan teknik kontrol klasik sebelum kontrol adaptif untuk mengontrol *plant* yang berkarakteristik kompleks dan dinamik.

- **BAB II DASAR TEORI**

Pada Bab II akan dibahas mengenai kontrol adaptif secara umum. Pembahasan mengenai kontrol adaptif ini meliputi pengertian, konsep dasar, aplikasi, perkembangan hingga algoritma-algoritma yang digunakan untuk membangun sebuah sistem kontrol adaptif. Pembahasan mengenai algoritma difokuskan pada penjabaran algoritma-algoritma yang digunakan untuk membangun sebuah sistem kontrol adaptif dengan metode *self tuning adaptive control*. Pembahasan mengenai metode *self tuning adaptive control* ini meliputi algoritma-algoritma yang digunakan untuk identifikasi sistem dan desain pengontrol. Pada tugas akhir ini, algoritma *recursive least squares* dan *pole placement* merupakan algoritma yang akan dibahas secara mendalam. Kemudian pembahasan dilanjutkan pada *multi model adaptive control*. Pembahasan mengenai *multi model adaptive control* hanya difokuskan pada konsep dasar dan konfigurasi standarnya.

- **BAB III PEMODELAN SISTEM**

Pada BAB III akan dibahas mengenai pemodelan pengontrol *pitch* sebuah pesawat terbang yang dibangun dengan beberapa asumsi. Pembahasan mengenai pemodelan pengontrol *pitch* pesawat terbang ini dimulai dengan pembahasan sistem fisik dan persamaan matematis pesawat terbang hingga didapatkannya *transfer function* yang merepresentasikan *plant* pesawat terbang tersebut [21, 22, 23, 24].

- **BAB IV SIMULASI DAN ANALISA**

Kemudian pada BAB IV akan dibahas mengenai bagaimana membangun simulasi sistem kontrol adaptif dengan metode *self tuning adaptive control* dan analisa hasil keluarannya. Pada bagian simulasi ini, *plant* pesawat terbang yang telah dibangun sebelumnya pada BAB III, diuji untuk dikontrol dengan menggunakan sistem kontrol adaptif metode *self tuning adaptive control* dan sistem kontrol tidak adaptif. Berdasarkan respon keluaran kedua sistem kontrol tersebut, analisa dilakukan untuk membandingkan performansinya. Lebih lanjut, dalam bagian simulasi ini, *plant* pesawat terbang juga diuji untuk dikontrol dengan menggunakan sistem kontrol adaptif dengan metode *multi-model adaptive control*. Keseluruhan simulasi yang dibangun dan dianalisa dalam BAB IV ini, dibuat dengan menggunakan aplikasi Simulink MATLAB.

- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada BAB V akan berisikan kesimpulan hasil studi, percobaan dan saran-saran penulis untuk pengembangan lebih lanjut tugas akhir ini.