

PEMODELAN DAN SIMULASI INSTRUMEN PESAWAT VOR/DME (*VHF OMNI-DIRECTIONAL RANGE/DISTANCE MEASURING EQUIPMENT*) SEBAGAI PERALATAN NAVIGASI UDARA (*NAVAIDS*) PADA PESAWAT TERBANG

Wiwit Ariyanti
PT. Dirgantara Indonesia
email : wiwitariyanti19@gmail.com

ABSTRAK

Dalam dunia penerbangan, pendeteksian arah dan jarak pesawat menjadi salah satu cara mewujudkan penerbangan yang baik. VOR/DME merupakan alat bantu/fasilitas navigasi penerbangan yang dimaksud. Peralatan ini ditemukan oleh FAA dari komponen yang berpasangan (*collocated*) yang mampu memancarkan sinyal radio gabungan, termasuk kode morse dan data yang memungkinkan peralatan *receiver* pada pesawat memperoleh *magnetic bearing* dari *station* ke pesawat terbang.

VOR biasanya beroperasi bersama DME dengan maksud untuk memberikan informasi/panduan mengenai arah/*azimuth* (VOR) dan jarak (DME) pesawat terhadap *ground station* kepada penerbang.

Pemodelan dan simulasi peralatan VOR/DME ini merupakan studi perilaku peralatan navigasi udara yang dibangun menggunakan software yang mampu menirukan perilaku sistem nyata (realitas) tertentu dengan tampilan yang menarik dan mudah dipahami oleh pengguna. Keluaran yang dihasilkan berupa data angka (numerik) yang kemudian angka tersebut dikonversi menjadi bentuk animasi yang sesuai dengan tampilan peralatan yang sebenarnya

Kata kunci: pemodelan dan simulasi, peralatan navigasi udara, VOR/DME

1. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Navigasi merupakan hal yang sangat penting dalam lalu lintas udara, tidak seperti lalu lintas di darat yang sudah tersedia jalurnya. Dalam praktiknya, sebuah pesawat sangat membutuhkan petunjuk navigasi untuk mengarahkan pesawatnya dari tempat asal ke tempat tujuan agar tidak keluar dari jalur lalu lintasnya dan memperkecil resiko kecelakaan pesawat.

Dalam kegiatan penerbangan, pengetahuan dan keterampilan bernavigasi bagi semua pihak yang terkait dengan kegiatan penerbangan, sangat penting dan menentukan keberhasilan misi penerbangan itu sendiri. Seperti yang termuat pada UU No.1 tahun 2009 tentang Penerbangan, bahwa: “Navigasi penerbangan adalah proses mengarahkan gerak pesawat udara dari satu titik ke titik yang lain dengan selamat dan lancar untuk menghindari bahaya dan/atau rintangan penerbangan.”

Sistem navigasi penerbangan terdiri dari kumpulan berbagai peralatan navigasi udara (*nav aids*) yang berguna untuk memberi panduan seperti halnya arah, jarak, kecepatan terhadap suatu bandar udara, ketinggian terhadap daratan, serta peralatan yang berfungsi untuk memberikan panduan pendaratan (*landing*) ketika cuaca buruk yang kesemuanya itu bertujuan untuk keselamatan dan keamanan penerbangan.

Salah satu peralatan navigasi penerbangan tersebut yang akan penulis bahas yaitu VOR/DME (*VHF Omni-Directional Range/Distance Measuring Equipment*). Secara garis besar, VOR adalah alat bantu navigasi penerbangan yang memancarkan sinyal radio gabungan, termasuk kode morse dan data yang memungkinkan peralatan *receiver* pada pesawat untuk memperoleh *magnetic bearing* dari *station* ke pesawat terbang. VOR biasanya beroperasi bersama DME dengan maksud untuk memberikan informasi

arah/*azimuth* (VOR) dan jarak (DME) kepada penerbang.

Dengan pertimbangan pada hal yang dijelaskan diatas, penulis melakukan penelitian untuk membuat pemodelan dan simulasi peralatan navigasi udara VOR/DME untuk memberikan sarana bagi mereka yang berminat mempelajari dan ingin memahami cara kerja VOR/DME sebagai alat navigasi udara.

1.2 IDENTIFIKASI MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, dapat diidentifikasi beberapa pokok permasalahan yang menjadi panduan dalam penulisan penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun model matematis cara kerja dan karakteristik dari peralatan navigasi udara VOR/DME?
2. Bagaimana membangun *software* yang mampu mensimulasikan fungsi dan perilaku peralatan navigasi udara VOR/DME berdasarkan pemodelan yang telah dirancang ?

1.3 MAKSUD PENELITIAN

Maksud dari penelitian ini, adalah sebagai suatu media pembelajaran dalam studi perilaku (*behaviour*) terhadap sistem navigasi udara dengan cara sebagai berikut:

1. Menganalisa cara kerja dan perilaku dari sistem peralatan navigasi udara VOR/DME dan melakukan pemodelan dengan membuat model matematis yang merepresentasikan cara kerja dan perilaku dari sistem tersebut.
2. Membuat *software* yang mampu mensimulasikan cara kerja dan perilaku peralatan navigasi udara VOR/DME berdasarkan pemodelan yang telah dirancang

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menerapkan bidang ilmu pemodelan dan simulasi untuk memodelkan dan mensimulasikan sistem nyata yaitu sistem navigasi udara VOR/DME dalam bidang kedirgantaraan.

2. Mewujudkan salah satu media sebagai sarana mempelajari dan memahami cara kerja sistem navigasi udara VOR/DME dan bagaimana komponen dalam sistem tersebut berinteraksi.

1.5 BATASAN MASALAH

Penulis merealisasikan batasan permasalahan sebagai berikut:

1. Hanya membahas mengenai cara kerja dari sistem peralatan navigasi udara VOR/DME.
2. Simulasi dirancang berdasarkan hasil dari pemodelan matematis dan pembahasan mengenai teori perhitungan (*navigation formulary*) hanya dilakukan untuk memodelkan sistem.
3. Simulasi dirancang menggunakan Microsoft Visual Studio 2010 dengan bahasa pemrograman C# dan didukung oleh Map X45 serta Disti GL Studio sebagai *library* (komponen) yang digunakan untuk membangun *software* dengan beberapa parameter yang telah ditentukan untuk dianalisa, diukur dan dihitung.
4. Simulasi dirancang menggunakan beberapa area VOR/DME *station* yang telah ditentukan oleh penulis (BND, HLM, DKI, CKG).
5. Parameter *altitude* hanya diasumsikan, sehingga bernilai konstan.
6. Simulasi dimulai dengan menempatkan pesawat pada koordinat Halim Perdanakusuma VOR – DME yang tidak dapat diubah dengan pertimbangan adanya beberapa VOR/DME *station* di sekitarnya.

2. LANDASAN TEORI

2.1 REKAYASA PERANGKAT LUNAK

Menurut *wikipedia*, rekayasa perangkat lunak adalah satu bidang profesi yang mendalami cara-cara pengembangan perangkat lunak termasuk pembuatan, pemeliharaan, manajemen organisasi pengembangan perangkat lunak dan manajemen kualitas. Sedangkan menurut *IEEE Computer Society* mendefinisikan rekayasa perangkat lunak sebagai penerapan suatu pendekatan yang sistematis, disiplin dan terkuantifikasi atas pengembangan, penggunaan dan pemeliharaan perangkat lunak, serta studi atas pendekatan – pendekatan ini, yaitu penerapan pendekatan *engineering* atas perangkat lunak. Artinya,

rekayasa perangkat lunak merupakan suatu pendekatan sistematis untuk mengembangkan perangkat lunak dalam waktu dan anggaran yang ditentukan.

Rekayasa perangkat lunak adalah disiplin teknologi yang menggabungkan konsep ilmu komputer, ekonomi, kemampuan komunikasi dan ilmu manajemen dengan pendekatan pemecahan masalah dari teknik. Ini juga melibatkan pendekatan terstandar untuk pengembangan program, baik dalam aspek manajerial maupun teknisnya.

Salah satu tujuan utama rekayasa perangkat lunak adalah membantu pengembang mendapatkan perangkat lunak berkualitas tinggi. Kualitas ini dicapai melalui penggunaan *Total Quality Management* (TQM), yang memungkinkan proses perbaikan secara terus – menerus yang mengarah pada pendekatan pengembangan yang lebih mapan terhadap rekayasa perangkat lunak.

Secara lebih khusus, tujuan dari rekayasa perangkat lunak dapat dinyatakan sebagai berikut:

1. Memperoleh biaya produksi perangkat lunak yang rendah.
2. Menghasilkan perangkat lunak dengan kinerja yang tinggi, andal dan tepat waktu.
3. Menghasilkan perangkat lunak yang dapat bekerja pada berbagai jenis platform.
4. Menghasilkan perangkat lunak dengan biaya perawatan yang rendah.

2.2 METODE PROTOTYPING

Proses pengembangan sistem seringkali menggunakan pendekatan prototipe (*prototyping*). Metode ini sangat baik digunakan untuk menyelesaikan masalah kesalahpahaman antara pengguna dan analis yang timbul akibat pengguna tidak mampu mendefinisikan secara jelas kebutuhannya (Mulyanto, 2009).

Prototyping adalah pengembangan yang cepat dan pengujian terhadap model kerja (prototipe) dari aplikasi baru melalui proses interaksi dan berulang-ulang yang biasa digunakan ahli sistem informasi dan ahli bisnis.

Prototyping disebut juga desain aplikasi cepat (*Rapid Application Design/RAD*), karena

menyederhanakan dan mempercepat desain sistem (O'Brien, 2005).

Sebagian pengguna kesulitan mengungkapkan keinginannya untuk mendapatkan aplikasi yang sesuai dengan kebutuhannya. Kesulitan ini yang perlu diselesaikan oleh analis dengan memahami kebutuhan pengguna dan menerjemahkannya ke dalam bentuk model (prototipe). Model ini selanjutnya diperbaiki secara terus menerus sampai sesuai dengan kebutuhan pengguna

2.3 PEMODELAN DAN SIMULASI

Definisi model dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah pola (contoh, acuan, ragam) dari sesuatu yang dihasilkan atau dibuat. Model dapat dikatakan juga sebagai representasi atau formalisasi dalam bahasa tertentu (yang disepakati) dari sistem nyata (sistem yang sedang berlangsung dalam kehidupan).

Suatu sistem real dapat dibuat modelnya agar dapat dengan mudah dipelajari dan ditingkatkan performanya tanpa harus melalui serangkaian eksperimen terhadap sistem real. Pemodelan dalam *science* dan *engineering* adalah proses membangun dan membentuk sebuah model yang dilakukan dengan menurunkan perilaku sistem yang sebenarnya dalam bentuk variabel – variabel, dimana keterkaitan diantaranya dapat diperlihatkan dalam suatu persamaan matematis.

Sedangkan simulasi menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah penggambaran suatu sistem atau proses dengan peragaan berupa model statistik atau pemeranan. Dengan begitu simulasi merupakan tiruan dari sebuah sistem dengan menggunakan model untuk melakukan evaluasi dan meningkatkan kinerja sistem.

Dalam simulasi digunakan komputer untuk mempelajari sistem secara numerik, dimana dilakukan pengumpulan data untuk melakukan estimasi statistik untuk mendapatkan karakteristik asli dari sistem.

Simulasi merupakan alat yang tepat untuk digunakan terutama jika diharuskan untuk

melakukan eksperimen dalam rangka mencari komentar terbaik dari komponen – komponen sistem. Hal ini dikarenakan biaya yang dikeluarkan sangat mahal dan memerlukan waktu yang lama, jika eksperimen dicoba secara riil. Dengan melakukan studi simulasi, maka dalam waktu yang singkat dapat ditentukan keputusan yang tepat, serta dengan biaya yang tidak terlalu besar, karena semuanya cukup dilakukan dengan komputer

2.5 SISTEM NAVIGASI UDARA

Navigasi berasal dari bahasa latin *navis* dan *agere*. *Navis* diartikan kapal, dan *agere* diartikan sebagai pekerjaan memindahkan atau menjalankan. Dengan itu navigasi pada umumnya diartikan sebagai "pengetahuan sekaligus seni memindahkan kapal dari satu tempat ke tempat lain di muka bumi, sesuai rencana" (disarikan dari beberapa ensiklopedia).

Dari definisi tersebut diatas, didapat pemahaman bahwa pengetahuan navigasi merupakan ilmu pengetahuan sekaligus seni tentang kegiatan memindahkan kapal (dengan berbagai aspek yang terkait di dalamnya) dari pelabuhan laut satu ke pelabuhan laut yang lain, yang ada di muka bumi.

Dalam UU No. 1 tahun 2009 tentang Penerbangan, disebutkan bahwa : "Navigasi Penerbangan adalah proses mengarahkan gerak pesawat udara dari satu titik ke titik yang lain dengan selamat dan lancar untuk menghindari bahaya dan/atau rintangan penerbangan". Dengan demikian, ada beberapa unsur pengetahuan yang harus dipahami ketika akan mempelajari navigasi udara, yaitu:

1. Pesawat udara, sebagai sarana untuk kegiatan penerbangan,
2. Lokasi/posisi di muka bumi, sebagai tempat dimana kegiatan penerbangan dilakukan,
3. Perencanaan penerbangan (*flight planning*) sebagai *safety culture* yang dikembangkan oleh masyarakat penerbangan, agar kegiatan penerbangan dapat berlangsung dengan selamat, lancar, efektif dan efisien.

2.5 PERALATAN NAVIGASI UDARA VOR/DME

2.5.1 VOR (*VHF Omni-Directional Range*)

VOR yang merupakan singkatan dari *VHF (Very High Frequency) Omni –Directional Range* adalah alat bantu navigasi yang paling tua dan paling sering digunakan. Terdiri dari ribuan transmitter station di darat yang berkomunikasi dengan peralatan penerima (*receiver*) pada pesawat terbang.

VOR merupakan salah satu sistem navigasi radio di pesawat terbang. VOR memancarkan sinyal radio gabungan, termasuk kode morse dan data yang memungkinkan peralatan *receiver* pada pesawat untuk memperoleh *magnetic bearing* dari *station* ke pesawat terbang. VOR bekerja pada frekuensi VHF dari 108 sampai 117,95 MHz. Karena VOR bekerja pada frekuensi VHF, maka jarak komunikasi darat – udara terbatas berupa "*line of sight*".



Gambar 2.1 Stasiun Pemancar VOR

Alat pengukur yang digunakan untuk menampilkan informasi VOR adalah *Omni-Bearing Selector (OBS)* atau *Course Deviation Indicator (CDI)*. *Indicator display* yang digunakan selain CDI adalah HSI (*Horizontal Situation Indicator*). Terdapat dua jenis HSI, yaitu mekanikal HSI dan elektronik HSI.



Gambar 2.2 *Course Deviation Indicator*

Cara kerja VOR secara sederhana adalah ada dua frekuensi yang diterima pesawat ketika *tune-in* ke suatu VOR station, satu frekuensi adalah frekuensi acuan (*reference signal*) dan yang lain berbeda di setiap arah (*variable signal*). Beda dari dua frekuensi ini yang menentukan radial dari VOR station tersebut.

Fungsi VOR sendiri dapat dijelaskan yaitu untuk menunjukkan arah azimuth, yaitu sudut searah jarum jam antara arah utara dari stasiun VOR dengan garis yang menunjukkan stasiun tersebut dengan pesawat terbang, untuk menunjukkan deviasi kepada pilot (pesawat berada di kiri, di kanan atau tepat pada jalur penerbangan yang benar atau dipilih) serta menunjukkan arah pesawat terbang menuju atau meninggalkan VOR. Tujuan Sistem Informasi adalah menghasilkan informasi.

2.5.2 DME (*Distance Measuring Equipment*)

DME atau *Distance Measuring Equipment* adalah alat bantu navigasi pesawat yang beroperasi pada prinsip radar sekunder. DME memberikan informasi antara jarak pesawat dengan stasiun yang ada di darat. VOR/DME, VORTAC, ILS/DME dan fasilitas navigasi LOC/DME yang didirikan oleh FAA menyediakan informasi jalur dan jarak dari komponen berpasangan (*colocated*) dibawah rencana penyandingan frekuensi.

Penempatan DME yang dipasangkan dengan VOR biasanya memiliki daya keluaran sebesar 1000 Watt (*High Power*). Dalam operasinya, pesawat udara mengirim pulsa interogasi yang berbentuk sinyal acak (*random*) kepada *ground station*, kemudian *ground station* mengirim pulsa jawaban (*reply*) yang sinkron dengan pulsa interogasi

Cara kerja DME secara sederhana yaitu saat pesawat menuju landasan yang dituju, maka DME secara otomatis akan bekerja dan akan menerima sinyal pancaran dari ground station, apabila pesawat semakin mendekat kelandasan, maka jarak semakin berkurang. Saat antenna mendapatkan sinyal dari ground station lalu dikirimkan ke transceiver, maka dalam transceiver sinyal tersebut diproses dan menghasilkan output berupa data angka yang ditampilkan dalam indikator.



Gambar 2.3 Stasiun Pemancar DME

Fungsi DME biasanya digunakan bersama dengan VOR untuk saling melengkapi dan bermanfaat untuk memberikan informasi pesawat mengenai jarak terhadap stasiun DME atau VOR di darat (VOR memberikan sudut atau arah dalam derajat, sedangkan DME memberikan informasi jarak dalam *Nautical Miles* atau NM), DME dapat digunakan secara bersamaan pada fasilitas navigasi ILS (*Instrument Landing System*) yang berguna memberikan informasi jarak secara terus – menerus kepada penerbang pada saat melakukan pendekatan atau pendaratan di suatu bandar udara.



Gambar 2.4 DME Display Indicator

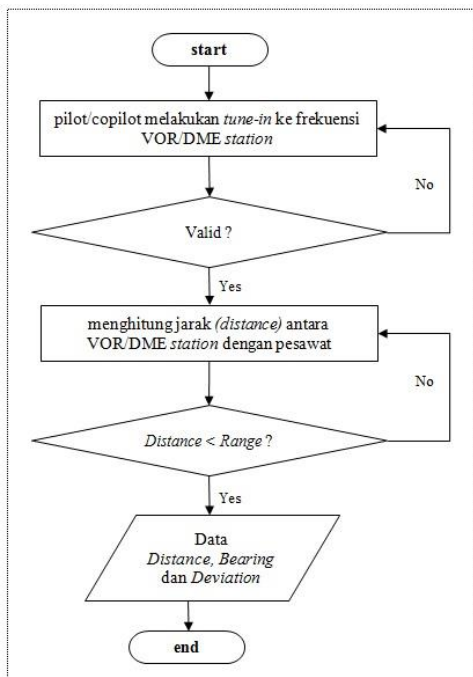
3. ANALISIS DAN PERANCANGAN

3.1 ANALISIS SITEM

Pada bab ini dilakukan analisis terhadap sistem peralatan navigasi udara VOR/DME dengan tujuan untuk mengidentifikasi perilaku, cara kerja dan merancang model matematis yang mampu mewakili perilaku sistem.

3.1.1 Analisis Sistem yang Berjalan

Analisis sistem yang berjalan adalah tahap menggambarkan sistem yang sedang berjalan saat ini dengan tujuan untuk memberi gambaran yang lebih detail tentang bagaimana cara kerja dari sistem



Gambar 3.1 Flowchart Sistem Berjalan

3.1.2 Analisis Permasalahan

Tahap analisis permasalahan adalah tahap yang dilakukan untuk menganalisa sistem riil guna mendapatkan informasi tentang apa yang diperlukan sebagai input dari model dan simulasi serta parameter apa saja yang bisa mempengaruhi perilaku dari sistem, dalam hal ini adalah sebagai output dari simulasi. Dari hasil analisis dapat dijelaskan bahwa:

1. Posisi pesawat dan lokasi peralatan navigasi pesawat VOR/DME yang ada di darat, meliputi koordinat *latitude* dan *longitude*.
2. Pengaruh dari *course*, *heading* dan *speed* pesawat serta pengaruh angin (kecepatan dan arah angin) dan posisi *navaids* terhadap output pada simulator.

3.1.3 Analisis Model

Analisis model adalah tahap pengujian model yang telah dirancang dengan target yang ingin dicapai yaitu berupa kesesuaian terhadap perilaku dari sistem, apakah model yang direkomendasikan dapat menjadi alternatif/gambaran dari sistem secara nyata. Analisis model dapat dilaksanakan dengan cara berikut:

1. Mensimulasikan model rekomendasi, yaitu menjalankan hasil model untuk dilakukan verifikasi dan validasi. Verifikasi adalah suatu langkah untuk meyakinkan bahwa model berkelakuan/bersifat seperti yang

dikehendaki, bisa dijalankan di komputer. Sedangkan, validasi merupakan langkah untuk meyakinkan bahwa model berkelakuan/bersifat seperti sistem nyatanya.

2. Menganalisa perbandingan hasil output, antara skenario dalam model yang dirancang dengan hasil dari simulasi.

3.2 ANALISIS KEBUTUHAN SISTEM

Tujuan dari tahapan ini (*System Requirement Analysis*) adalah untuk memahami dengan sebenar – benarnya kebutuhan dari sistem yang akan dirancang dan untuk mawadahi kebutuhan tersebut baik untuk kebutuhan sistem maupun dilihat dari segi pengguna.

3.2.1 Analisis Kebutuhan Fungsional

Jenis kebutuhan yang berisi proses – proses apa saja yang nantinya dilakukan oleh sistem. Berikut beberapa hal yang harus ada dalam sistem dan dapat dijalankan oleh pengguna sistem:

Tabel 3.1 Kebutuhan Fungsional Sistem

No.	Kebutuhan Fungsional
1	Pengguna dapat mengatur <i>course</i> , <i>heading</i> dan <i>speed</i> (kecepatan) pesawat serta data angin (<i>speed</i> dan <i>direction</i>) pada data input yang akan berpengaruh pada pergerakan pesawat.
2	Pengguna dapat melakukan <i>zoom in</i> , <i>zoom out</i> , <i>pan tool</i> dan <i>arrow tool</i> pada peta di sistem serta keluar dari program dengan <i>exit tool</i> .
3	Pengguna harus memilih salah satu lokasi peralatan navigasi (<i>navaids</i>) VOR/DME yang telah disediakan (Bandung, Jakarta, Cengkareng atau Halim).
4	Program tidak dapat berjalan, jika pengguna tidak memilih salah satu VOR/DME <i>navaids station</i> yang telah disediakan.
5	Sistem dapat menampilkan peta lengkap dengan <i>airways</i> .
6	Sistem dapat menampilkan peta lengkap dengan koordinat <i>latitude longitude</i> , pesawat, VOR/DME <i>station point</i> .
7	Sistem dapat menampilkan kondisi peta saat di <i>zoom in</i> , <i>zoom out</i> , <i>pan tool</i> ataupun <i>arrow tool</i> sesuai keinginan pengguna.
8	Sistem dapat menampilkan posisi koordinat <i>latitude longitude</i> area yang ditunjuk <i>pointer</i> di bagian kanan atas peta.
9	Sistem dapat mengetahui koordinat <i>latitude longitude</i> pesawat berdasarkan lokasi pesawat pada peta secara otomatis.
10	Sistem dapat menampilkan <i>time</i> penerbangan yang telah ditempuh oleh pesawat.

11	Sistem dapat menampilkan informasi tentang <i>NavAids</i> yang dipilih, meliputi <i>ID, Frequency, Distance</i> dan <i>Bearing</i> pesawat.
12	Sistem dapat menampilkan <i>output</i> pada instrumen EHSI berupa sudut deviasi (<i>course deviation</i>), <i>bearing</i> dan <i>heading</i> pesawat.
13	Sistem dapat mensimulasikan pergerakan pesawat sesuai dengan data input yang diberikan oleh pengguna.
14	Sistem dapat menampilkan hasil simulasi dalam kondisi program yang diberikan instruksi <i>pause</i> dan melanjutkan simulasinya kembali saat program diberikan instruksi <i>continue</i> (dalam hal ini untuk melakukan pengujian terhadap model).

3.2.2 Analisis Kebutuhan Non-Fungsional

Analisis kebutuhan non-fungsional (*Non-Functional Requirement Analysis*) dapat dijelaskan sebagai suatu bentuk kebutuhan terhadap perangkat yang dibutuhkan sistem dan dapat terbagi dalam hal untuk pengembangan atau penggunaannya. Kebutuhan terhadap perangkat ini juga terbagi atas kebutuhan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

Adapun spesifikasi *hardware* dan *software* yang dibutuhkan sistem dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.2 Kebutuhan Non-Fungsional

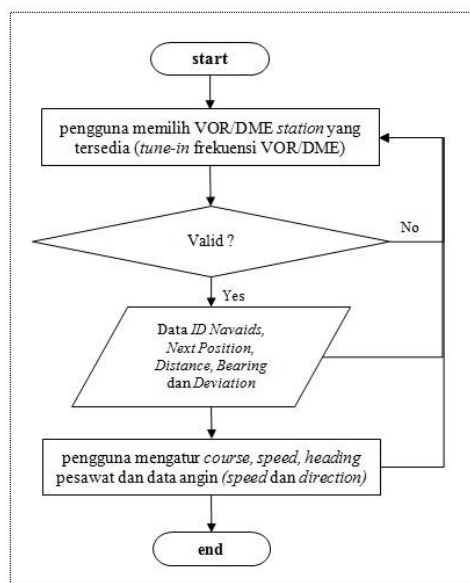
Kebutuhan Non-Fungsional	
Kebutuhan Perangkat Keras (<i>Hardware Requirement</i>)	
Pengembang	Pengguna
Intel Pentium IV	Intel Pentium IV
Memori 2 GB	Memory 512 MB
Hardisk free space 3 GB	
DirectX 9	
Kebutuhan Perangkat Lunak (<i>Software Requirement</i>)	
Pengembang	Pengguna
Windows7 OS 32 byte	Windows7 OS 32 byte
Microsoft Visual Studio 2010	
Map X45	
DiSTI GL Studio	

3.3 PERANCANGAN SISTEM

Adapun tujuan yang hendak dicapai dari tahap perancangan sistem yaitu untuk memenuhi kebutuhan pemakai sistem (*user*) dan untuk memberikan gambaran yang jelas dan menghasilkan rancang bangun yang lengkap kepada pemograman komputer dan ahli – ahli teknik lainnya yang terlibat dalam pengembangan atau pembuatan sistem.

3.3.1 Flowchart

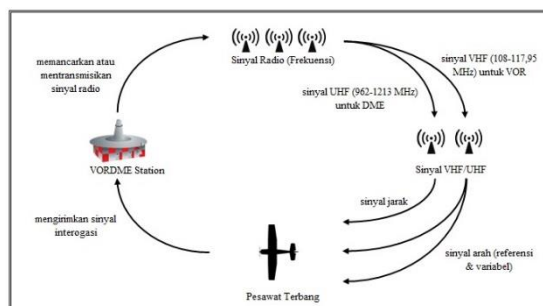
Flowchart atau diagram alir adalah sebuah jenis diagram yang mewakili algoritme, alir kerja atau proses, yang menampilkan langkah-langkah dalam bentuk symbol – symbol grafis dan urutannya dihubungkan dengan panah. Diagram ini mewakili ilustrasi atau penggambaran penyelesaian masalah. Berikut adalah *flowchart* sistem yang diusulkan



Gambar 3.2 Flowchart Sistem yang Diusulkan

3.3.2 Rich Picture Diagram (RPD)

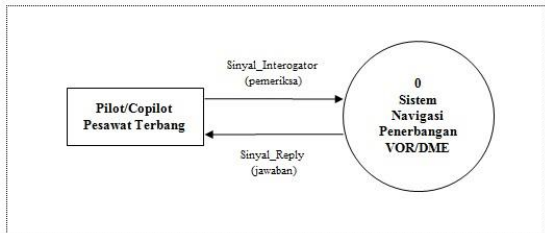
RPD merupakan suatu gambaran sistem yang diwujudkan dengan gambar – gambar, sehingga terlihat seperti pengaplikasian model yang sesungguhnya. Berikut perancangan *Rich Picture Diagram* (RPD) untuk sistem navigasi penerbangan VOR/DME:



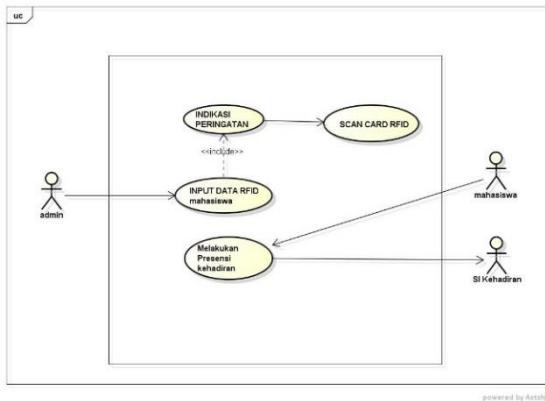
Gambar 3.3 VOR/DME NavAids RFD

3.3.3 Context Diagram (CD)

Context diagram atau diagram konteks merupakan diagram level tertinggi dari DFD yang menggambarkan seluruh input yang masuk ke dalam sistem maupun output yang keluar dari sistem yang terdiri dari suatu proses dan menggambarkan ruang lingkup suatu sistem. Untuk lebih jelasnya diagram konteks yang diusulkan adalah sebagai berikut:



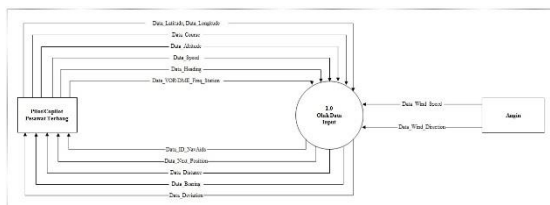
Gambar 3.4 Context Diagram yang Diusulkan



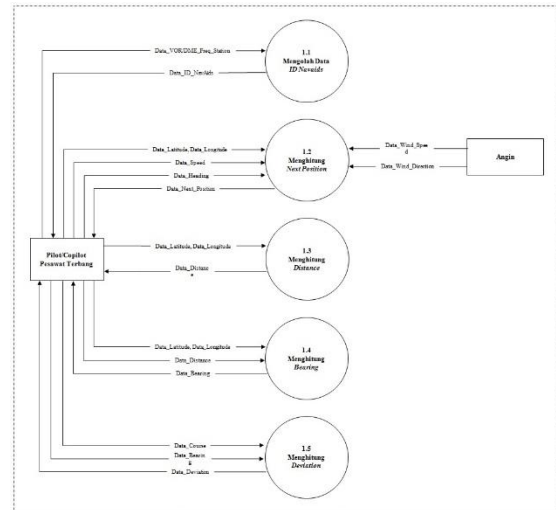
Gambar 3.5 Use Case Diagram Alat dan Sistem

3.3.4 Data Flow Diagram (DFD)

Merupakan alat untuk menggambarkan sistem sebagai suatu jaringan proses fungsional yang dihubungkan satu sama lain dengan alur data, baik secara manual maupun komputerisasi. Adapun DFD level 0 dan level 1 dari sistem yang diusulkan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.6 DFD Level 0



Gambar 3.7 DFD Level 1

3.3.5 Pemodelan Sistem

Sistem navigasi penerbangan VOR/DME pada penelitian ini dilakukan menggunakan pemodelan matematis dimana kumpulan keterkaitan variabel – variabel yang berbentuk formulasi atau fungsi persamaan dan atau pertidaksamaan, mengekspresikan sifat pokok dari sistem.

Model matematis dalam sistem navigasi penerbangan VOR/DME ini telah tercantum dalam *Navigation Formulary* halaman 8 yang menjadi sumber referensi dalam bidang kedirgantaraan internasional, yaitu:

$$dis = acos \{ \sin(lat1) * \sin(lat2) + \cos(lat1) * \cos(lat2) * \cos(long1 - long2) \}$$

atau

$$dis = 2 * asin \{ \sqrt{ (\sin((lat1 - lat2)/2))^2 + \cos(lat1) * \cos(lat2) * (\sin((long1 - long2)/2))^2 } \}$$

$$tc = acos \{ (\sin(lat2) - \sin(lat1) * \cos(dis)) / (\sin(dis) * \cos(lat1)) \}$$

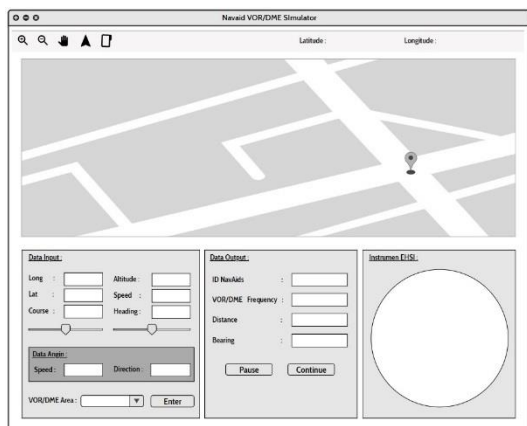
dengan keterangan sebagai berikut:

dis : jarak (distance) antara 2 titik-posisi (Nm)

tc : sudut (true course) antara 2 titik-posisi (degree)

3.3.6 Perancangan Antarmuka (Interface)

Merancang antarmuka merupakan bagian yang paling penting dari perancangan sistem. Perancangan antarmuka pada program simulasi sistem ini yaitu:



Gambar 3.8 Perancangan Antarmuka VOR/DME NavAids Simulation

4. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

4.1 IMPLEMENTASI

Tahap implementasi merupakan tahap penciptaan perangkat lunak atau tahap kelanjutan dari kegiatan perancangan sistem.

4.1.1 Lingkungan Implementasi

Lingkungan implementasi yang digunakan meliputi spesifikasi perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*).

Tabel 4.1 Software Development Tool

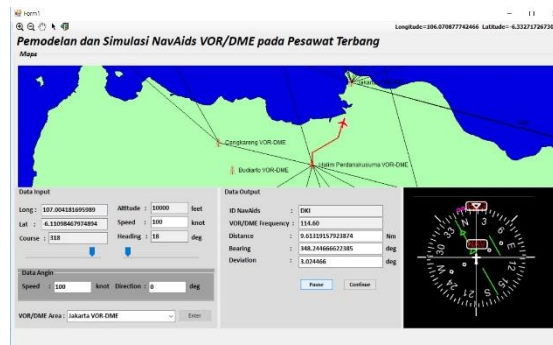
Perangkat Lunak	Keterangan
Windows10	Sebagai sistem operasi
Microsoft Visual Studio 2010 Ultimate	Sebagai perangkat lunak pengembang
C#	Sebagai bahasa pemrograman
Map X45	Sebagai aplikasi pengembang (<i>maps library</i>)
DiSTI GL Studio	Sebagai aplikasi pengembang (<i>instrument display</i>)

Tabel 4.2 Computer Development

Perangkat Keras	Keterangan
Processor	Intel Core i7 2,60 GHz 64byte
Memory (RAM)	8.00 GB
Harddisk	1.00 TB
Monitor	Resolusi 1920 x 1080

4.1.2 Implementasi Program

Aplikasi ini terdiri dari 1 antarmuka yang telah termasuk di dalamnya adalah data input, data output serta segala yang mendukung pemahaman terhadap sistem. Berikut merupakan gambar tampilan antarmuka dari aplikasi yang telah dibuat:



Gambar 4.1 Implementasi Antarmuka VOR/DME NavAids Simulation

4.2 PENGUJIAN

Pengujian fungsional yang digunakan penulis untuk menguji sistem ini dilakukan dengan menggunakan metode pengujian *Black Box Testing*. *Black Box Testing* adalah suatu pengujian yang dilakukan hanya untuk mengamati hasil dari eksekusi pada software tersebut. Pengamatan hasil ini melalui data uji dan memeriksa fungsional dari perangkat lunak itu sendiri.

Pengujian *black box testing* ini juga mengevaluasi hanya pada tampilan luarnya saja/antarmuka (*interface*), fungsionalnya dan tidak melihat atau mengetahui apa yang sesungguhnya terjadi di dalam proses detilnya. Namun hanya mengetahui proses input dan output-nya saja.

4.2.1 Rencana Pengujian

Rencana pengujian yang akan dilakukan pada aplikasi ini selengkapnya dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel 4.3 Kasus Uji

No. Kelas Uji	Detail Pengujian	Jenis Uji
1	Menampilkan peta lengkap dengan <i>airways</i> nya	Black Box Testing
2	Menampilkan peta lengkap dengan koordinat <i>latitude longitude</i> , pesawat dan <i>VOR/DME station point</i>	
3	Menampilkan peta dalam kondisi <i>zoom in</i> , <i>zoom out</i> , <i>pan tool</i> dan <i>arrow tool</i>	
4	Menampilkan posisi koordinat <i>latitude longitude</i> area yang ditunjuk di bagian kanan atas peta	
5	Menampilkan posisi koordinat <i>latitude longitude</i> pesawat berdasarkan lokasi pesawat pada peta secara otomatis	
6	Menampilkan <i>line</i> penerbangan yang telah ditempuh oleh pesawat	

7	Data Input	Pengguna dapat mengatur <i>course</i> , <i>heading</i> dan <i>speed</i> (kecepatan) pesawat serta data angin (<i>speed and direction</i>) pada data input yang akan berpengaruh pada pergerakan pesawat	Black Box Testing
8		Pengguna dapat melakukan <i>zoom in</i> , <i>zoom out</i> , <i>pan tool</i> dan <i>arrow tool</i> pada peta di sistem serta keluar dari program dengan <i>exit tool</i>	
9		Pengguna harus memilih salah satu lokasi peralatan navigasi (<i>nav aids</i>) VOR/DME yang telah disediakan (Bandung, Jakarta, Cengkareng atau Halim)	
10		Program tidak dapat berjalan, jika pengguna tidak memilih salah satu VOR/DME <i>nav aids station</i> yang telah disediakan	
11	Data Output	Menampilkan informasi tentang <i>NavAids</i> yang dipilih, meliputi <i>ID</i> , <i>Frequency</i> , <i>Distance</i> dan <i>Bearing</i> pesawat	Black Box Testing
12		Menampilkan <i>output</i> pada instrumen EHSI berupa sudut deviasi (<i>course deviation</i>), <i>bearing</i> dan <i>heading</i> pesawat	
13		Menampilkan simulasi pergerakan pesawat sesuai dengan data input yang diberikan oleh pengguna	
14		Menampilkan hasil simulasi dalam kondisi program yang diberikan instruksi <i>pause</i> dan melanjutkan simulasinya kembali saat program diberikan instruksi <i>continue</i> (dalam hal ini untuk melakukan pengujian terhadap model)	

4.2.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian yang diperoleh dari pelaksanaan pengujian pada aplikasi ini selengkapnyanya dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel 4.4 Pengujian Pada Kelas Uji Maps

No.	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian
1	Membuka aplikasi "Pemodelan & Simulasi NavAids VOR/DME pada Pesawat Terbang"	Menampilkan peta lengkap dengan <i>airways</i> nya	Sesuai harapan
2		Menampilkan peta lengkap dengan koordinat <i>latitude longitude</i> , pesawat dan VOR/DME <i>station point</i>	Sesuai harapan
3	Menggunakan <i>toolbar</i> aplikasi di bagian kiri atas yang meliputi <i>zoom in</i> , <i>zoom out</i> , <i>pan tool</i> dan <i>arrow tool</i>	Menampilkan peta dalam kondisi <i>zoom in</i> , <i>zoom out</i> , <i>pan tool</i> dan <i>arrow tool</i>	Sesuai harapan
4	Mengarahkan <i>pointer</i> ke sembarang lokasi dalam peta	Menampilkan posisi koordinat <i>latitude longitude</i> area yang ditunjuk di bagian kanan atas peta	Sesuai harapan
5	Menekan button 'Enter' untuk menjalankan simulasi pesawat terbang	Menampilkan posisi koordinat <i>latitude longitude</i> pesawat berdasarkan lokasi pesawat pada peta secara otomatis	Sesuai harapan
6		Menampilkan <i>line</i> penerbangan yang telah ditempuh oleh pesawat	Sesuai harapan

Tabel 4.5 Pengujian pada Kelas Uji Data Input

No.	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian
7	Menggunakan <i>toolbar</i> aplikasi di bagian kiri atas yang meliputi <i>zoom in</i> , <i>zoom out</i> , <i>pan tool</i> dan <i>arrow tool</i> serta <i>exit</i> program	Menampilkan peta dalam kondisi <i>zoom in</i> , <i>zoom out</i> , <i>pan tool</i> dan <i>arrow tool</i> serta keluar dari program	Sesuai harapan

8	Melakukan pengaturan terhadap <i>course</i> , <i>heading</i> dan <i>speed</i> pesawat serta data angin meliputi <i>speed</i> dan <i>direction</i>	Pergerakan pesawat dapat menyesuaikan data input	Sesuai harapan
9	Memilih salah 1 VOR/DME <i>nav aids station</i> yang telah disediakan	Data output menampilkan informasi tentang <i>NavAids</i> yang dipilih, meliputi <i>ID</i> , <i>Frequency</i> , <i>Distance</i> dan <i>Bearing</i> pesawat	Sesuai harapan
10	Tidak memilih VOR/DME <i>nav aids station</i> yang telah disediakan	Program dapat berjalan hanya ketika pengguna memberikan salah 1 pilihan input VOR/DME <i>nav aids station</i>	Sesuai harapan

Tabel 4.6 Pengujian pada Kelas Uji Data Output

No.	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian
11	Memilih salah 1 VOR/DME <i>nav aids station</i> yang telah disediakan dan menekan button 'Enter'	Menampilkan informasi tentang <i>NavAids</i> yang dipilih, meliputi <i>ID</i> , <i>Frequency</i> , <i>Distance</i> dan <i>Bearing</i> pesawat	Sesuai harapan
12		Menampilkan <i>output</i> pada instrumen EHSI berupa sudut deviasi (<i>course deviation</i>), <i>bearing</i> dan <i>heading</i> pesawat	Sesuai harapan
13	Menekan button 'Pause' atau 'Continue' untuk menghentikan atau melanjutkan simulasi pesawat terbang	Menampilkan simulasi pergerakan pesawat sesuai dengan data input yang diberikan oleh pengguna	Sesuai harapan
14		Menampilkan hasil simulasi dalam kondisi program yang diberikan instruksi <i>pause</i> dan melanjutkan simulasinya kembali saat program diberikan instruksi <i>continue</i> (dalam hal ini untuk melakukan pengujian terhadap model)	Sesuai harapan

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan perancangan sistem yang telah penulis laksanakan, maka penulis mencoba membuat suatu kesimpulan dan beberapa saran yang berhubungan dengan pembahasan yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya.

5.1 KESIMPULAN

Setelah melakukan berbagai tahap penelitian yang termasuk di dalamnya adalah analisis, perancangan dan pengujian, maka kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini bahwa sistem yang dibangun dapat menjadi salah satu media pembelajaran bagi mereka yang berminat mempelajari dan memahami sistem/cara kerja navigasi penerbangan khususnya VOR/DME umumnya dan

khususnya bagi para penerbang muda akan lebih familiar/mengenal terhadap instrumen – instrumen navigasi yang akan segera mereka hadapi di dunia nyata.

5.2 SARAN

Berdasarkan kesimpulan yang telah dijelaskan di atas, sistem yang telah dibuat ini mendekati maksud dan tujuan dari sistem yang sudah berjalan. Dari semua hasil yang telah dicapai saat ini, sistem ini masih mempunyai kekurangan, diantaranya:

1. Untuk menyempurnakan *software* pemodelan dan simulasi peralatan navigasi udara VOR/DME ini, parametar *altitude* (ketinggian) pesawat dan *range station* yang masih diasumsikan, dapat dibuat sebagai variabel input yang dapat diatur,
2. Diharapkan program ini juga dapat dikembangkan menjadi lebih menarik lagi, dengan menambahkan berbagai instrumen dalam *cockpit* pesawat yang lain yang dapat merepresentasikan keadaan pilot/copilot dalam menerbangkan pesawatnya

DAFTAR PUSTAKA

1. Developer, MapX. 1999. *MapX Developer's Guide*. Troy – New York: MapInfo Corporation
2. Kurniawan, Agus., Adnan, Risman., dkk. 2004. *Pengenalan Bahasa C#*. Jakarta: Team Project Otak
3. Nugraha, Sapta., & Caesar, Aditya Tama. 2016. *Analisis Kinerja Sistem Doppler VHF Omnidirectional Range dan Distance Measuring Equipment pada Navigasi Penerbangan*. Universitas Maritim Raja Ali Haji. Tanjungpinang
4. Rachmatullah, Agro. 2002. *Mempelajari C# Bahasa Pemrograman Modern*. Surabaya: e-book programmer.
5. Setiawan, Sandi. 2017. *Modul Pemodelan Sistem*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
6. Tunjung, Bondhan. 2011. *Distance Measuring Equipment (DME) Sebagai Alat Navigasi pada Pesawat*. Universitas Diponegoro. Semarang
7. Diegowidagdo. 2014. *Peralatan Navigasi dalam Penerbangan*. <https://diegowidagdo.wordpress.com/2014/12/21/peralatan-navigasi-dalam-penerbangan/> Diakses pada hari Kamis, tanggal 23 Agustus 2018

8. Rosyada, Destilla. 2014. *VHF Omni-Directional Range (VOR)*. http://destillarosyada.blogspot.com/2014/12/vhf-omni-directional-range-vor_21.html Diakses pada hari Kamis, tanggal 23 Agustus 2018
9. Koswara, Rudi. 2017. *Horizontal Situation Indicator*. <http://myelectronicnote.blogspot.co.id/2017/04/hsi-horizontal-situation-indicator.html> Diakses pada hari Sabtu, 25 Agustus 2018