

**REKABENTUK, ANALISIS
DAN PERLAKSANAAN
SISTEM KAWALAN MERIAM**

oleh

ZAINAL ABIDIN BIN MAT AMIN

Tesis yang diserahkan untuk memenuhi
keperluan bagi Ijazah Sarjana Sains

Jun 1999

PENGHARGAAN

Saya ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan jutaan terimakasih kepada Prof. Madya Dr. Che Mat Hadzer bin Mahmud dan Prof. Madya Dr Ali Yeon bin Mohd Shakaff selaku penyelia projek yang telah banyak memberi bimbingan dan tunjuk ajar dalam menjayakan projek ini.

Penghargaan dan jutaan terimakasih juga kepada Bahagian Penyelidikan dan Pembangunan, Telekom Malaysia Berhad yang telah memberi peruntukan kewangan serta peralatan dan akhir sekali kepada kakitangan Makmal Penyelidikan Telekom, Pusat Pengajian Kejuruteraan Elektrik dan Elektronik, Institut Pengajian Siswazah dan Perpustakaan Universiti Sains Malaysia dan yang telah membantu secara langsung dan tidak langsung dalam menjayakan projek ini.

Zainal Abidin Bin Mat Amin

Bahagian Penyelidikan & Pembangunan

Telekom Malaysia Berhad

D/a Pusat Pengajian Kejuruteraan Elektrik dan Elektronik

Universiti Sains Malaysia

JADUAL KANDUNGAN

| | |
|---------------------------------------------------------|------|
| PENGHARGAAN | |
| JADUAL KANDUNGAN | ii |
| SENARAI JADUAL | viii |
| SENARAI RAJAH | ix |
| SENARAI KEPENDEKAN | xii |
| ABSTRAK (BAHASA MALAYSIA) | xiv |
| ABSTRAK (BAHASA INGGERIS) | xv |
| | |
| BAB 1: PENGENALAN | 1 |
| 1.1 Teknologi Sistem Kawalan Meriam | 1 |
| 1.1.1 Meriam Udara | 1 |
| 1.1.2 Meriam Kapal | 1 |
| 1.1.3 Meriam Darat | 2 |
| 1.2 Sistem Meriam Darat | 2 |
| 1.3 Spesifikasi Simulasi Sistem Kawalan Meriam Darat | 3 |
| 1.4 Objektif Penyelidikan | 5 |
| 1.5 Sinopsis Tesis | 7 |
| | |
| BAB 2: RADAR PENJEJAK | 8 |
| 2.1 Pengenalan | 8 |

| | | |
|---------------|-----------------------------------------|-----------|
| 2.1.1 | Radar Penjejak | 9 |
| 2.1.2 | Pemproses | 9 |
| 2.1.3 | Meriam | 10 |
| 2.2 | Jenis-Jenis Meriam | 10 |
| 2.2.1 | Meriam Darat | 11 |
| 2.2.2 | Meriam Kapal | 11 |
| 2.2.3 | Meriam Udara | 12 |
| 2.3 | Sistem Kawalan Meriam Darat | 13 |
| 2.3.1 | Radar Penjejak | 14 |
| 2.3.2 | Sistem Pemproses | 14 |
| 2.3.3 | Sistem Meriam | 16 |
| BAB 3: | TEKNIK PENJEJAKAN SASARAN | 18 |
| 3.1 | Teori Radar Penjejak | 18 |
| 3.2 | Pengesanan Kon | 19 |
| 3.3 | Radar Unidenyut | 21 |
| 3.4 | Pengukuran Arah | 22 |
| 3.5 | Pengukuran Jarak | 22 |
| 3.6 | Pengukuran Halaju | 23 |
| 3.7 | Simulasi Penjejakan Sasaran | 23 |
| 3.8 | Jelmaan Koordinat | 28 |
| 3.9 | Perbincangan | 31 |
| BAB 4: | TEKNIK-TEKNIK PENURASAN PENJEJAK | 34 |
| 4.1 | Pengenalan | 34 |

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2 | Perataan Eksponen | 35 |
| 4.3 | Anggaran Kuasadua Terkecil | 37 |
| 4.4 | Penuras α - β | 40 |
| 4.5 | Penuras Punca Kuasadua | 42 |
| 4.6 | Pemfaktoran UD | 43 |
| 4.7 | Keputusan Simulasi Peruras Penjejak | 44 |
| 4.7.1 | Keputusan Untuk Perataan Eksponen | 44 |
| 4.7.2 | Keputusan Untuk Anggaran Kuasadua Terkecil | 48 |
| 4.7.3 | Keputusan Untuk Penuras α - β , Punca Kuasadua dan Pemfaktoran UD | 51 |
| 4.8 | Perbincangan | 56 |
| 4.8.1 | Perataan Eksponen | 56 |
| 4.8.2 | Anggaran Kuasadua Terkecil | 57 |
| 4.8.3 | Penuras α - β , Penuras Punca Kuasadua dan Pemfaktoran UD | 58 |
| 4.9 | Kesimpulan | 60 |
| BAB 5: SISTEM RAMALAN MERIAM | | 61 |
| 5.1 | Pengenalan | 61 |
| 5.2 | Algorithma Ramalan | 63 |
| 5.3 | Simulasi dan Keputusan | 68 |
| 5.3.1 | Kesan Bilangan Gelung Pengiraan | 68 |
| 5.3.2 | Kesan Halaju Peluru Pada Muncung Meriam | 69 |

| | | |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------|
| 5.3.3 | Kesan Halaju Sasaran | 70 |
| 5.3.4 | Kesan Jarak Sasaran | 71 |
| 5.3.5 | Kesan Hingar Warna | 72 |
| 5.3.6 | Penggunaan Penuras | 74 |
| 5.4 | Perbincangan | 76 |
| 5.4.1 | Kesan Bilangan Gelung | 77 |
| 5.4.2 | Kesan Halaju Peluru Pada Muncung Meriam | 77 |
| 5.4.3 | Kesan Halaju Sasaran | 78 |
| 5.4.4 | Kesan Jarak Sasaran | 79 |
| 5.4.5 | Kesan Penggunaan Penuras | 79 |
| 5.5 | Kesimpulan | 80 |
| BAB 6: KAWALAN SISTEM MERIAM | | 81 |
| 6.1 | Simulasi Sistem Meriam | 81 |
| 6.1.1 | Simulasi Masukan Fungsi Langkah | 82 |
| 6.1.2 | Masa Lengahan Sebenar | 84 |
| 6.1.2(a) | Jelmaan z Pindaan | 84 |
| 6.1.2(b) | Keputusan simulasi terhadap masukan fungsi langkah | 87 |
| 6.2 | Simulasi Sistem Kawalan Meriam | 89 |
| 6.2.1 | Kesan Terhadap Masa Lengahan Sebenar | 91 |
| 6.2.2 | Kesan Terhadap Hingar Warna | 92 |
| 6.2.3 | Kesan Terhadap Perubahan Masukan Mendadak | 93 |
| 6.3 | Pembaikan Sistem Kawalan Meriam | 96 |

| | | |
|---------------|-----------------------------------------|------------|
| 6.3.1 | Teknik Ekstrapolasi Data Masukan | 97 |
| 6.3.2 | Teknik Penambahan Nilai Offset Masukan | 99 |
| 6.4 | Cadangan Pelaksanaan Untuk Meriam Kapal | 102 |
| 6.4.1 | Sistem Kawalan Meriam Kapal | 102 |
| 6.4.2 | Simulasi Sistem Kawalan Meriam Kapal | 104 |
| 6.4.3 | Keputusan Simulasi | 105 |
| 6.5 | Perbincangan | 106 |
| 6.5.1 | Simulasi Sistem Kawalan Meriam | 106 |
| 6.5.2 | Masa Lengahan Sebenar | 107 |
| 6.5.3 | Masa Lengahan Pengiraan | 108 |
| 6.5.4 | Masa Lengahan Penghantaran | 109 |
| 6.5.5 | Hingar Warna | 109 |
| 6.5.6 | Perubahan Masukan Meriam | 110 |
| 6.5.7 | Pembaikan Sistem Kawalan Meriam | 111 |
| 6.5.8 | Perlaksanaan Perkakasan | 112 |
| | 6.5.8(a) Komputer Terbenam | 112 |
| | 6.5.8(b) Pemproses | 113 |
| | 6.5.8(c) Sistem Pengoperasi | 114 |
| | 6.5.8(d) Penyusun | 115 |
| BAB 7: | KESIMPULAN DAN CADANGAN | 116 |
| 7.1 | Penuras Penjejak | 116 |
| 7.2 | Algorithma Ramalan | 116 |
| 7.3 | Sistem Meriam | 117 |

| | | |
|-----|---------------------------------------|-----|
| 7.4 | Cadangan Pembaikan Algorithma Ramalan | 118 |
|-----|---------------------------------------|-----|

| | |
|----------------|------------|
| RUJUKAN | 120 |
|----------------|------------|

| | |
|-----------------|------------|
| LAMPIRAN | 122 |
|-----------------|------------|

| | |
|---------------------------|------------|
| SENARAI PENERBITAN | 123 |
|---------------------------|------------|

SENARAI JADUAL

| | | |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Jadual 4.1: | Bilangan pemberat dan julat nilai pemberat yang diuji | 37 |
| Jadual 4.2: | Keputusan ujian bilangan dan nilai pemberat berlainan | 44 |
| Jadual 4.3: | Purata peratus magnitud ralat jarak bagi jumlah pemberat yang berlainan | 45 |
| Jadual 4.4: | Keputusan purata peratus magnitud ralat halaju bagi jumlah pemberat yang berlainan | 45 |
| Jadual 4.5: | Purata ralat jarak untuk julat masa 1 - 10, 11 - 20 dan 21 - 30 saat | 48 |
| Jadual 4.6: | Purata ralat halaju untuk julat masa 1 - 10, 11 - 20 dan 21 - 30 saat | 48 |
| Jadual 4.7: | Peratus magnitud ralat jarak | 55 |
| Jadual 4.8: | Peratus magnitud ralat halaju | 56 |
| Jadual 5.1: | Kesan bilangan gelung terhadap ralat ramalan | 69 |
| Jadual 5.2: | Kesan halaju peluru terhadap ralat ramalan | 70 |
| Jadual 5.3: | Kesan halaju sasaran terhadap ralat ramalan | 71 |
| Jadual 5.4: | Kesan jarak sasaran terhadap ralat ramalan | 72 |
| Jadual 5.5: | Purata ralat jarak pintasan | 76 |
| Jadual 5.6: | Purata peratus ralat jarak pintasan | 76 |

SENARAI RAJAH

| | | |
|-------------|--------------------------------------------------------|----|
| Rajah 1.1: | Kedudukan dan arah pergerakan sasaran (pandangan atas) | 4 |
| Rajah 1.2: | Kedudukan dan arah pergerakan sasaran (pandangan sisi) | 5 |
| Rajah 2.1: | Perkakas sistem kawalan meriam | 8 |
| Rajah 2.2: | Isyarat masukan dan keluaran meriam | 10 |
| Rajah 2.3: | Sistem kawalan meriam darat | 13 |
| Rajah 3.1 | Antena radar pengesanan kon | 20 |
| Rajah 3.1 | Pancaran gelombang elektromagnet radar pengesanan kon | 20 |
| Rajah 3.3 | Pancaran gelombang elektromagnet radar unidenyut | 21 |
| Rajah 3.1: | Graf jarak sasaran lawan masa | 25 |
| Rajah 3.2: | Graf sudut azimut sasaran lawan masa | 25 |
| Rajah 3.3: | Graf sudut naikan sasaran lawan masa | 26 |
| Rajah 3.4: | Graf peratus ralat jarak sasaran lawan masa | 26 |
| Rajah 3.5: | Graf peratus ralat sudut azimut sasaran lawan masa | 27 |
| Rajah 3.6: | Graf peratus ralat sudut naikan sasaran lawan masa | 27 |
| Rajah 3.7: | Jarak sasaran dalam kordinat kartesan | 28 |
| Rajah 3.8: | Halaju sasaran dalam kordinat kartesan | 29 |
| Rajah 3.9: | Ralat jarak sasaran pada satah x | 30 |
| Rajah 3.10: | Ralat jarak sasaran pada satah y | 30 |

| | | |
|-------------|------------------------------------------------------------------------|----|
| Rajah 3.11: | Ralat jarak sasaran pada satah z | 30 |
| Rajah 3.12: | Magnitud ralat jarak sasaran | 31 |
| Rajah 3.13: | Magnitud ralat halaju | 31 |
| Rajah 4.1: | Graf peratus magnitud ralat jarak untuk masukan, $m=2$ dan $=3$ | 46 |
| Rajah 4.2: | Graf peratus magnitud ralat jarak untuk $m=3$, $m=5$ dan $=7$ | 46 |
| Rajah 4.3: | Graf peratus magnitud ralat halaju untuk masukan, $m=2$ dan $=3$ | 47 |
| Rajah 4.4: | Graf peratus magnitud ralat halaju untuk $m=3$, $m=5$ dan $=7$ | 47 |
| Rajah 4.5: | Peratus magnitud ralat jarak untuk $n =10$, $n=20$ dan data masukan | 49 |
| Rajah 4.6: | Peratus magnitud ralat jarak untuk $n =20$, $n=30$ dan $n = 40$ | 49 |
| Rajah 4.7: | Peratus magnitud ralat halaju untuk data masukan, $n =10$ dan 20 | 50 |
| Rajah 4.8: | Peratus magnitud ralat halaju untuk $n =20$, 30 dan 40 | 50 |
| Rajah 4.9: | Graf magnitud ralat jarak lawan masa | 52 |
| Rajah 4.10: | Graf magnitud ralat jarak lawan masa (ralat > 10 m tidak ditunjuk) | 52 |
| Rajah 4.11: | Graf peratus magnitud ralat jarak lawan masa | 52 |
| Rajah 4.12: | Graf magnitud ralat jarak lawan masa (ralat $> 0.4\%$ tidak ditunjuk) | 53 |
| Rajah 4.13: | Graf magnitud ralat halaju lawan masa | 53 |
| Rajah 4.14: | Graf magnitud ralat halaju lawan masa (ralat > 5 m/s tidak ditunjuk) | 54 |
| Rajah 4.15: | Graf peratus magnitud ralat halaju lawan masa | 54 |
| Rajah 4.16: | Graf magnitud ralat halaju lawan masa (ralat $> 5\%$ tidak ditunjuk) | 55 |
| Rajah 5.1: | Tembakan sasaran udara | 61 |

| | | |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Rajah 5.2: | Ralat jarak ramalan | 68 |
| Rajah 5.3: | Graf jarak sasaran dan ramalan jarak pintasan lawan masa | 73 |
| Rajah 5.4: | Kesan hingar warna dan penggunaan penuras | 75 |
| Rajah 5.5: | Kesan hingar warna dan penggunaan penuras | 75 |
| | | |
| Rajah 6.1: | Sistem meriam idea | 82 |
| Rajah 6.2: | Sistem meriam dengan pensampel | 83 |
| Rajah 6.3: | Graf sambutan terhadap fungsi langkah sistem meriam | 84 |
| Rajah 6.4: | Sistem meriam dengan pensampel dan masa lengahan sebenar | 85 |
| Rajah 6.5: | Sistem meriam dengan masa lengahan sebenar | 88 |
| Rajah 6.6: | Graf keluaran sistem dengan masa lengahan sebenar dan $T=0.01s$ | 89 |
| Rajah 6.7: | Graf keluaran sistem dengan masa lengahan sebenar dan $T=0.001s$ | 89 |
| Rajah 6.8: | Sistem kawalan meriam | 91 |
| Rajah 6.9: | Simulasi sistem kawalan meriam menggunakan Matlab Simulink | 91 |
| Rajah 6.10: | Graf ralat jarak pintasan lawan masa untuk $m = 0.0, 0.2, 0.4$ dan 0.8 | 92 |
| Rajah 6.11: | Graf ralat jarak pintasan lawan masa untuk $m = 0.0, 0.2, 0.4$ dan 0.8 (ralat setakat 0.5 meter sahaja ditunjukkan) | 93 |
| Rajah 6.12: | Graf ralat jarak pintasan lawan masa untuk kesan hingar | 94 |
| Rajah 6.13: | Graf sambutan sistem meriam terhadap sudut naikan untuk $T=0.01s$ | 95 |
| Rajah 6.14: | Graf sambutan sistem meriam terhadap sudut naikan untuk $T=0.01s$ | 96 |
| Rajah 6.15: | Ralat disebabkan oleh lajakan | 97 |

| | | |
|-------------|------------------------------------------------------------------|-----|
| Rajah 6.16: | Simulasi pembaikan sistem kawalan meriam | 97 |
| Rajah 6.17: | Keluaran sistem meriam untuk $T=0.01s$ menggunakan ekstrapolasi | 99 |
| Rajah 6.18: | Keluaran sistem meriam untuk $T=0.001s$ menggunakan ekstrapolasi | 100 |
| Rajah 6.19: | Keputusan masukan ofset untuk sistem meriam dengan $T=0.01s$ | 102 |
| Rajah 6.20: | Keputusan masukan ofset untuk sistem meriam dengan $T=0.001s$ | 102 |
| Rajah 6.21: | Olgengan dan empulur kapal | 103 |
| Rajah 6.22: | Sistem kawalan meriam kapal | 104 |
| Rajah 6.23: | Simulasi olgengan terhadap naikan meriam | 105 |
| Rajah 6.24: | Keputusan simulasi olgengan terhadap naikan meriam | 106 |

SENARAI KEPENDEKAN

| | |
|------|-----------------------------------|
| AKT | Anggaran Kuasadua Terkecil |
| PAB | Penuras α - β |
| PCI | Peripheral Component Interconnect |
| PE | Perataan Eksponen |
| PPK | Penuras Punca Kuasadua |
| PUD | Pemfaktoran UD |
| RTOS | Real.Time Operating System |
| SPSK | Set Pengiraan Suruhan kompleks |
| SPST | Set Pengiraan Suruhan Terturun |

ABSTRAK

Prestasi yang tinggi sistem kawalan meriam diperlukan bagi mengawal arah tembakan meriam. Sistem kawalan meriam terdiri daripada sistem ramalan arah meriam. Masa penerbangan iaitu masa yang diambil oleh peluru dan sasaran untuk tiba pada satu tempat yang dikenali sebagai titik pintasan. Algoritma ramalan telah dibangunkan menggunakan kaedah berangka yang akan menyesuaikan masa penerbangan dan arah tembakan meriam bagi mendapatkan ralat titik pintasan dalam julat yang boleh diterima atau bergantung kepada bilangan gelung yang telah ditetapkan. Arah meriam seterusnya dihantar kepada servo naikan dan azimuth meriam bagi menghalakan meriam ke arah titik pintasan yang telah diramal. Daripada keputusan, didapati nisbah antara halaju sasaran dan halaju peluru pada muncung meriam yang kurang daripada 0.6 diperlukan bagi mendapatkan keputusan ramalan yang sah dan bilangan gelung pengiraan yang optimum adalah 30. Algoritma yang telah dibangunkan memerlukan maklumat kedudukan dan halaju sasaran daripada radar penjejak dan juga paramater yang memberi kesan terhadap pergerakan peluru seperti graviti dan halaju peluru pada muncung meriam. Oleh kerana sistem tersebut adalah berdasarkan kepada radar penjejak yang tidak mempunyai kesan *Doppler*, maka halaju didapati dengan menggunakan kaedah penurasan dimana kedudukan sasaran sebagai masukan. Data kedudukan dicemari oleh hingar warna dan dijelmakan ke kordinat cartesian bagi memudahkan ramalan. Beberapa kaedah perataan dan penurasan bagi membuang hingar warna dan mendapatkan halaju sasaran telah dianalisis dan dibandingkan bagi

mendapatkan kaedah yang sesuai. Didapati prestasi penuras α - β adalah yang terbaik dan dipilih. Simulasi sistem kawalan meriam dilakukan menggunakan Matlab Simulink bagi menganalisis prestasi. Meriam terdiri daripada *masa lengahan sebenar* dan kesan terhadap kejituan arah tembakan dianalisis dan didapati ianya tidak memberi kesan terhadap kestabilan sistem dan diabaikan. Meriam menerima masukan dalam frekuensi 10 Hz yang menyebabkan pecutan (yang menimbulkan masalah kepada servo meriam) dan ralat terhadap arah tembakan. Oleh itu bagi mengurangkan pecutan meriam dan ralat arah tembakan, masukan meriam diubah dan dihantar dalam frekuensi 100 Hz. Lajakan meriam menghasilkan ralat arah yang malar. Ini diatasi dengan mengawal masukan iaitu dengan menambah suatu nilai ofset terhadap masukan. Perlaksanaan akhir telah dilakukan dan keputusan yang baik telah didapati.

Design, Analysis and Implementation of Gun Control System

ABSTRACT

Performance of gun requires a reliable control system to control its aiming point. The control system for gun includes prediction of gun aiming point and time of flight i.e. time taken by a shell and a target to arrive at the same position which is known as point of intercept. The prediction algorithm has been developed using numerical method which tunes the time of flight and gun aiming point to obtain the point of intercept error within an acceptable maximum value or predetermined tuning iteration. The tuned aiming point is then transmitted to drive the gun elevation and azimuth servo in order to aim to the predicted point of intercept. From the result obtained, it is shown that a ratio between target velocity and gun muzzle velocity is less than 0.6 in order to get a valid prediction results and the optimum tuning iteration is 30. The developed prediction algorithm requires target position and velocity from radar tracker as well as parameter effecting shell trajectory such as gravity and gun muzzle velocity. Since the system is based on radar which does not have Doppler effect, the velocity is obtained from filtering technique where the target position is the input. The measured position data corrupted with coloured noise are transformed to cartesian coordinates to facilitate the prediction. Several smoothing and filtering

techniques to eliminate coloured noise and extract the target's velocity were analysed and compared in order to select the suitable one. It was demonstrated that the performance of α - β filter is the best and was selected. A simulation of gun control system has been conducted using Matlab Simulink to analyse its performance. The gun has *pure time delay* and its effect on the gun aiming point's accuracy was analysed. It was found that the stability of the system is unaffected and can be neglected. The gun receives input at the rate of 10 Hz which leads to the gun's acceleration (which cause servo problem) and aiming point error. In order to reduce these errors, the gun input has been modified and transmitted to the gun at 100 Hz. A significant gun overshoot has caused a constant aiming point error. This has been solved using a technique of controlling the input by adding an offset value parameter. The final implementation has been done and an excellent result was achieved.

BAB 1: PENGENALAN

1.1 Teknologi Sistem Kawalan Meriam

Meriam berfungsi untuk menembak sasaran darat, kapal dan udara. Sistem meriam perlu dikawal supaya tembakan yang dilakukan adalah tepat mengenai sasaran. Ia dibahagikan kepada tiga jenis utama iaitu meriam udara, meriam kapal dan meriam darat.

1.1.1 Meriam Udara

Meriam udara ialah meriam yang dipasang pada jet pejuang, kapal terbang atau helikopter mempunyai saiz laras yang kecil iaitu lingkungan 10 mm. Ia hanya digunakan bagi menembak sasaran untuk jarak yang dekat (kurang daripada 1,000 meter) dan boleh dilihat dengan mata kasar. Meriam ini tidak memerlukan sistem kawalan berkomputer dan dikawal secara manual. Ketepatan tembakan bergantung kepada kecekapan pengendali meriam tersebut.

1.1.2 Meriam Kapal

Meriam kapal ialah meriam yang dipasang pada bot atau kapal perang yang mempunyai saiz laras yang lebih besar (antara 30 mm hingga 400 mm) berbanding dengan meriam udara. Ia digunakan bagi menembak sasaran yang jauh sehingga 16

km dimana sasaran tidak dapat dilihat dengan mata kasar. Meriam ini dikawal oleh sistem kawalan secara komputer atau secara manual. Ketepatan tembakan bergantung kepada kecekapan sistem kawalan dan pengendali meriam tersebut. Meriam dikawal secara manual untuk keadaan bila sistem kawalan berkomputer meriam mengalami kerosakan atau untuk jarak sasaran yang dekat iaitu kurang daripada 2 km.

1.1.3 Meriam Darat

Meriam darat ialah meriam yang digunakan di darat termasuklah meriam yang dipasang pada kereta kebal, kereta perisai dan sebagainya. Saiz laras meriam darat boleh mencapai sehingga 205 mm dan digunakan bagi menembak sasaran yang jauh sehingga 12 km yang mungkin tidak dapat dilihat dengan mata kasar. Ia juga digunakan bagi menembak sasaran udara dan laut.

Teknologi sistem kawalan meriam darat secara berkomputer dengan bantuan radar penjejak masih belum meluas. Kebanyakan meriam darat yang ada sekarang dikawal secara manual. Pengendali meriam akan mengawal nilai-nilai sudut naikan dan azimuth secara manual yang kemudiannya dipacu oleh sistem servo untuk menghalakan meriam kearah yang dikehendaki.

1.2 Sistem Meriam Darat

Sistem kawalan meriam darat yang kebanyakannya masih dilakukan secara manual perlu diperkembangkan dengan menggunakan sistem kawalan secara berkomputer dengan bantuan radar penjejak. Untuk kedudukan sasaran yang jauh iaitu melebihi 1,000 meter, bantuan radar penjejak diperlukan. Radar penjejak digunakan bagi

menentukan kedudukan sasaran dengan mudah walaupun tidak kelihatan dengan mata kasar.

Data daripada radar penjejak dicemari oleh hingar warna dan perlu dituras bagi membuang hingar tersebut. Jenis penuras yang sesuai perlu ditentukan. Bagi membolehkan meriam menembak sasaran yang bergerak dengan halaju yang tinggi, sistem ramalan perlu dibangunkan dengan mengambil data daripada radar penjejak bagi menentukan arah tembakan meriam yang sesuai. Halaju peluru beserta ciri-ciri balistik dan halaju sasaran perlu diambil kira dalam pembangunan algoritma sistem ramalan. Sistem meriam mempunyai masa lengahan sebenar dan kesannya terhadap kejituan tembakan sasaran perlu dikaji. Bergantung kepada data daripada sistem ramalan, masukan sudut azimut dan naikan bagi meriam adalah dalam frekuensi 10 Hz yang menghasilkan lajukan kepada meriam. Pembaikan perlu dilakukan bagi mengurangkan lajukan tersebut.

1.3 Spesifikasi Simulasi Sistem Kawalan Meriam Darat

Simulasi dilakukan dengan menggunakan Matlab Simulink. Nilai parameter yang digunakan dalam simulasi radar penjejak adalah berdasarkan nilai sebenar.

Radar yang disimulasi dalam kajian ini diandaikan tidak mempunyai kemudahan kesan *Doppler*. Kesan *Doppler* digunakan bagi menentukan halaju sasaran. Oleh itu halaju sasaran perlu dikira berdasarkan data kedudukan yang telah dituras.

Simulasi sasaran dilakukan dengan andaian ia bergerak menuju kearah kedudukan meriam dengan halaju malar dimana:

1. Nilai awal data kedudukan sasaran iaitu pada masa $t = 0$ ialah:

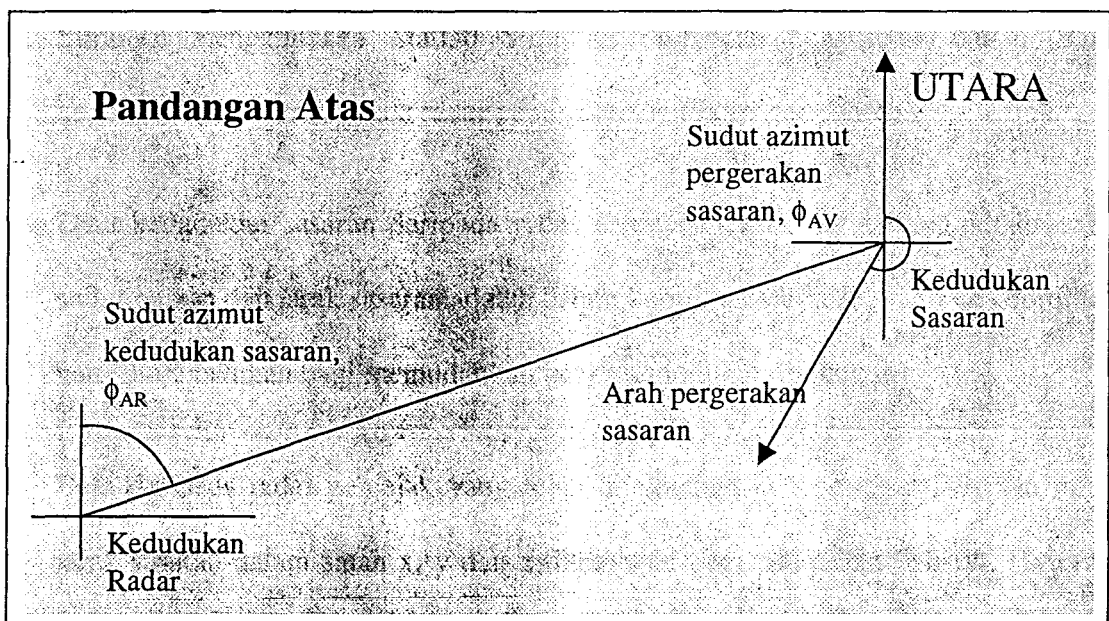
- Jarak kedudukan sasaran, $R = 9,380$ meter
- Sudut naikan kedudukan sasaran, $\theta_{ER} = 11.0622^\circ$
- Sudut azimut kedudukan sasaran, $\phi_{AR} = 54.5491^\circ$

2. Pergerakan sasaran adalah malar dimana:

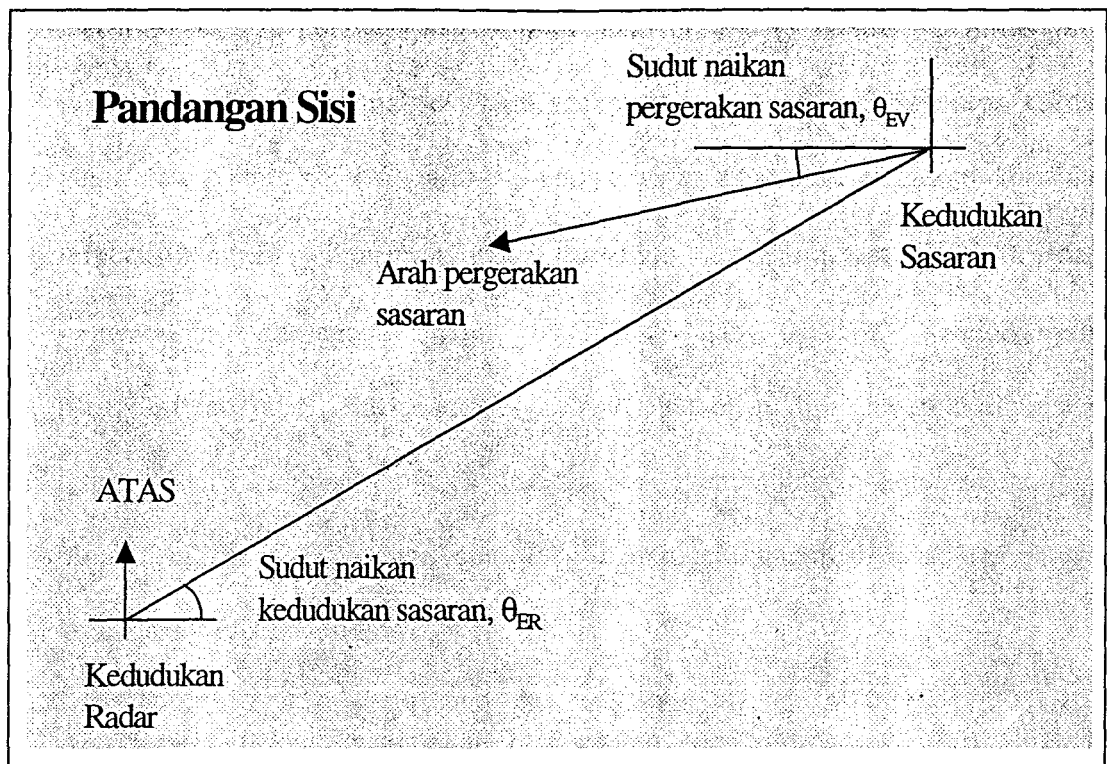
- Halaju pergerakan sasaran, $V = 250$ m/s
- Sudut azimut pergerakan sasaran, $\theta_{EV} = 235.0000^\circ$
- Sudut naikan pergerakan sasaran, $\phi_{AV} = -10.0000^\circ$

Sistem radar diandaikan menghantar data kedudukan sasaran pada frekuensi 10 Hz dan sebanyak 300 sampel data diambil iaitu simulasi untuk jangkamasa 30 saat. Rajah 1.1 di bawah menunjukkan gambaran kedudukan sasaran berbanding kedudukan radar dimana pergerakan sasaran menuju kearah kedudukan radar.

Dalam simulasi ini diandaikan hingar yang wujud dalam data kedudukan sasaran yang diterima daripada radar penjejak adalah hingar warna.



Rajah 1.1: Kedudukan dan arah pergerakan sasaran (pandangan atas)



Rajah 1.2: Kedudukan dan arah pergerakan sasaran (pandangan sisi)

1.4 Objektif Penyelidikan

Objektif dan skop penyelidikan ini adalah seperti berikut:

1. Simulasi menggunakan Matlab Simulink dilakukan bagi mendapatkan data kedudukan sasaran daripada radar penjejak yang terdiri daripada hingar warna.
2. Data kedudukan sasaran daripada radar penjejak terdiri daripada sudut azimut, sudut naikan dan jarak sasaran adalah dalam koordinat sfera. Jelmaan ke koordinat kartesian dilakukan bagi memudahkan penurasan hingar dilakukan.
3. Data daripada radar penjejak yang telah dijelmakan ke koordinat kartesian iaitu jarak sasaran dalam satah x, y dan z digunakan bagi pengiraan balistik. Penurasan penjejak digunakan bagi menuras hingar yang wujud dalam data sasaran.

Beberapa kaedah perataan dan penuras telah diuji bagi memilih penuras yang paling sesuai bagi digunakan dalam sistem kawalan meriam. Beberapa kaedah penurasan (George, 1995) iaitu kaedah perataan eksponen, anggaran kuasadua terkecil, penuras α - β , penuras punca kuasadua dan pemfaktoran UD diuji bagi menentukan kesesuaian dalam sistem kawalan meriam. Kaedah yang menghasilkan ralat jarak pintasan yang minima akan dipilih untuk digunakan dalam sistem kawalan meriam. Kaedah bagi menentukan halaju sasaran juga ditentukan. Ini adalah kerana radar yang disimulasi diandaikan tidak mempunyai kemudahan kesan *Doppler*.

4. Algoritma ramalan dibangunkan berdasarkan kepada peraturan fizik dinamik (Meriam dan Kraige, 1987) yang mengambil kira halaju pada muncung peluru, kedudukan sasaran, halaju sasaran dan sebagainya. Berdasarkan data sasaran daripada radar penjejak, ramalan dilakukan bagi menentukan sudut naikan dan sudut azimut yang sesuai supaya tembakan yang akan dibuat adalah tepat pada sasaran. Meriam akan menerima isyarat daripada sistem ramalan iaitu sudut azimut dan sudut naikan meriam.
5. Simulasi sistem meriam dilakukan berdasarkan kepada meriam bersaiz laras 57 mm jenis Bofors. Tujuan simulasi adalah bagi menentukan kesan masa lengahan sebenar sistem meriam terhadap ketepatan ramalan titik pintasan. Kaedah bagi mengurangkan ralat jarak pintasan yang disebabkan oleh sambutan sistem meriam juga ditentukan. Kesan frekuensi masukan meriam (10 Hz) keatas lajukan meriam dan kejituan ramalan juga ditentukan.

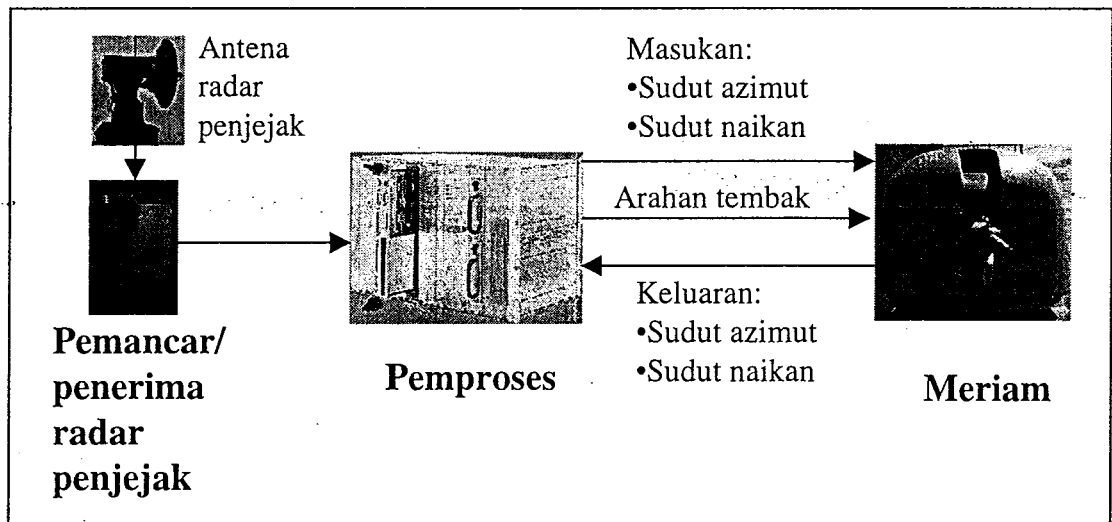
1.5 Sinopsis Tesis

Sinopsis tesis adalah seperti berikut. Bab 2 menerangkan sistem kawalan meriam dan komponen-komponennya. Sistem kawalan meriam darat, kapal dan jet juga dibincangkan. Bab 3 adalah penerangan tentang teknik-teknik penjejakan sasaran oleh radar penjejak beserta jelmaan koordinat. Bab 4 menerangkan beberapa kaedah penurasan yang telah dianalisis iaitu kaedah pelancaran eksponen, anggaran punca kuasadua, penuras α - β , penuras kuasadua dan pemfaktoran UD yang digunakan bagi menuras data sasaran dalam koordinat kartesian. Bab 5 menerangkan kaedah ramalan bagi meriam, yang akan menggunakan data sasaran yang telah dituras dalam Bab 4. Bab 6 menerangkan simulasi sambutan masukan fungsi langkah meriam, sambutan daripada sistem ramalan, kesan masa lengahan sebenar keatas sambutan meriam dan pembaikan keatas sistem kawalan meriam. Cadangan penggunaan sistem kawalan meriam untuk meriam kapal juga dibincangkan. Cadangan dan kesimpulan dimuatkan pada Bab 7.

BAB 2: SISTEM KAWALAN MERIAM

2.1 Pengenalan

Meriam dikawal oleh sistem yang dikenali sebagai Sistem Kawalan Meriam. Perkakas sistem kawalan meriam terdiri daripada antena radar penjejak, pemancar/penerima radar penjejak, pemproses dan meriam seperti ditunjukkan pada Rajah 2.1 di bawah. Pemproses digunakan bagi melakukan jelmaan koordinat, menuras data, ramalan dan mengawal meriam. Isyarat kawalan kepada meriam terdiri daripada sudut naikan, sudut azimut, isyarat tembak dan sebagainya manakala isyarat suapbalik daripada meriam terdiri daripada sudut naikan dan sudut azimut.



Rajah 2.1: Perkakas sistem kawalan meriam

Berdasarkan data sasaran daripada radar penjejak, ramalan dilakukan bagi menentukan sudut naikan dan sudut azimut yang sesuai supaya tembakan mengenai

sasaran dengan tepat. Isyarat sudut azimut dan sudut naikan akan dihantar kepada sistem meriam bagi mengubah arah tembakan.

2.1.1 Radar Penjejak

Radar penjejak terdiri daripada antena dan pemancar/ penerima. Jarak sasaran didapati daripada pemancar/ penerima manakala sudut azimut dan sudut naikan adalah daripada kedudukan fizikal antena. Isyarat dalam bentuk *synchro* untuk sudut-sudut tersebut perlu ditukar kepada digital bagi mendapatkan sudut-sudut dalam radian. Data kedudukan sasaran iaitu jarak, sudut azimut dan sudut naikan adalah dalam koordinat sfera dan dihantar kepada pemproses dalam frekuensi 10 Hz untuk proses seterusnya.

2.1.2 Pemproses

Pemproses terdiri daripada sistem komputer terbenam yang dilengkapi perkakasan antaramuka bagi menerima data pergerakan sasaran daripada radar penjejak dan menghantar data masukan untuk meriam. Data masukan meriam terdiri daripada sudut azimut dan naikan meriam. Perkakasan antaramuka untuk menerima arah meriam sebenar iaitu sudut azimut dan sudut naikan juga diperlukan bagi menentukan nilai ofset yang perlu diberi supaya arah tembakan meriam adalah tepat.

Tugas utama pemproses adalah:

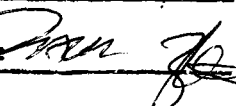
1. Melakukan jelmaan koordinat
2. Menuras data masukan yang diterima daripada radar penjejak
3. Melakukan pengiraan balistik dan meramal arah tembakan meriam

PERPUSTAKAAN UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Borang Arahan Menjilid Bagi Buku

PENGARANG: ZAINAL ABIDIN

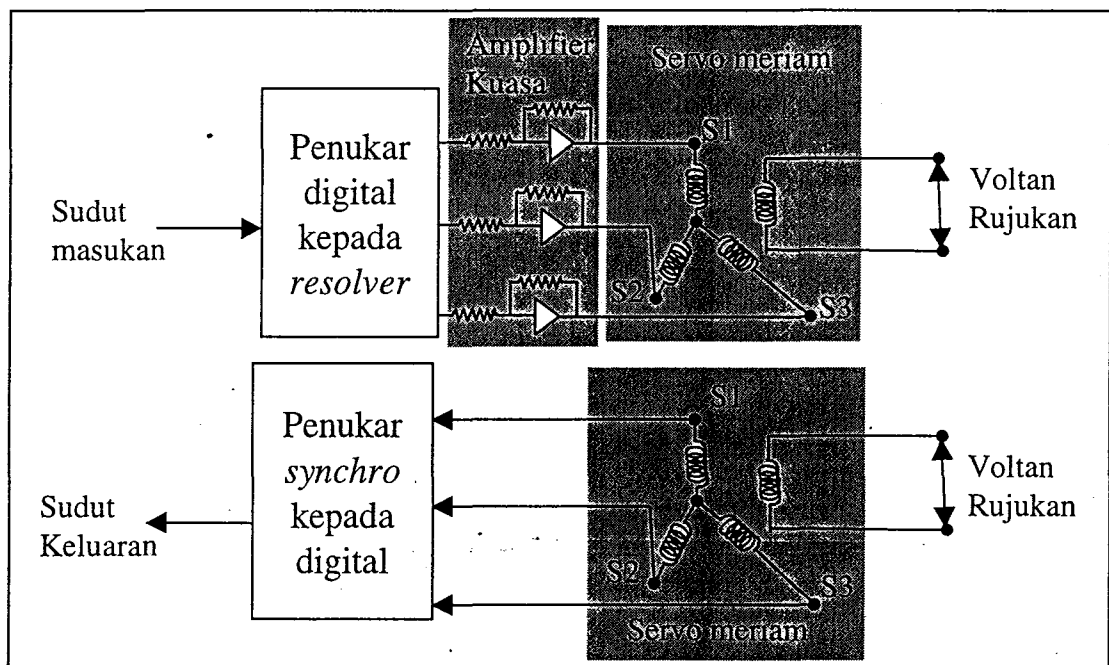
TAJUK: REKA BENTUK, ANALISIS
BANK PERALAMAN

| | | | |
|---------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| NO. PANGGILAN | | NO. PEROLEHAN | BIL. NASKAH |
| | | | 1 |
| | | COPY NUMBER | |
| | | | |
| WARNA BAHAN JILID | | JENIS BAHAN JILID | |
| BIRU | MERAH ✓ | BUCKRAM | LAIN-LAIN Bergul |
| MENGIKUT KEUTAMAAN PENJILID | | | |
| SEGERAKAN KEPADA RBC | | ARAHAN-ARAHAN LAIN | |
| BUKU SIMPANAN KHAS | | ★ | |
| | | TARIKH DIPINJAM: | |
| TARIKH PERSEDIAAN: 26/5/03 | | TANDATANGAN:  | |
| DISEMAK OLEH: | | | |
| TARIKH DIHANTAR: 27 MAY 2003 | | PENERIMA: | |
| TARIKH DIPULANGKAN: 16 JUN 2003 | | PENERIMA: | |

4. Menentukan nilai ofset yang perlu diberi kepada masukan meriam

2.1.3 Meriam

Untuk kawalan arah meriam, isyarat masukan yang perlu ialah sudut naikan dan sudut azimut. Manakala isyarat keluaran (suapbalik) ialah sudut naikan dan sudut azimut yang dihantar semula kepada pemproses. Rajah 2.2 di bawah menunjukkan isyarat masukan dan keluaran meriam dimana isyarat masukan adalah dalam bentuk digital. Ia ditukar kepada *resolver* dan seterusnya digandakan untuk menggerakkan servo meriam. Isyarat keluaran adalah dalam bentuk *synchro* dan ditukarkan kepada digital.



Rajah 2.2: Isyarat masukan dan keluaran meriam

2.2 Jenis-Jenis Meriam

Meriam dibahagikan kepada 3 jenis utama iaitu meriam darat, meriam kapal dan udara.

2.2.1 Meriam Darat

Meriam darat adalah meriam yang beroperasi didarat dan kebiasaannya bersaiz laras antara 30 mm hingga 205 mm. Fungsi meriam darat adalah untuk menembak sasaran yang berada di darat, udara dan laut. Pada kebiasaannya meriam darat komersial tidak mempunyai sistem kawalan bantuan komputer dan ia dilakukan secara manual dimana ketepatan dan kejituan arah tembakan bergantung kepada kecekapan pengendali meriam tersebut.

Untuk tembakan sasaran darat seperti kereta kebal dan lori adalah lebih mudah kerana sasaran tidak bergerak dengan halaju yang tinggi. Untuk sasaran laut, tembakan perlu dilakukan dengan teliti kerana ketepatan dan kejituan adalah bergantung kepada kecekapan pengendali meriam tersebut. Manakala untuk sasaran udara, ketepatan dan kejituan arah tembakan sukar dicapai kerana sasaran selalunya bergerak dengan halaju yang tinggi iaitu antara 200 km/j hingga 2,000 km/j.

Masalah ketepatan dan kejituan sasaran udara telah dapat diatasi dengan menggunakan peluru berfius yang akan meletup jika sasaran berada dalam jarak yang telah ditetapkan terlebih dahulu (pada kebiasaannya 30 meter). Letupan yang kuat akan menyebabkan perubahan tekanan udara yang tinggi disekitar sasaran seterusnya menyebabkan sasaran hilang keseimbangan atau retak dan seterusnya hilang kawalan dan jatuh ke bumi.

2.2.2 Meriam Kapal

Meriam kapal adalah meriam yang berada di kapal kebiasaannya bersaiz laras antara 30 mm hingga 400 mm. Fungsi meriam kapal adalah untuk menembak sasaran yang

berada di darat, udara dan laut. Pada kebiasaannya meriam kapal komersial dikawal dengan bantuan komputer. Perkakas untuk membolehkan meriam dikawal secara manual, juga ada disediakan untuk keadaan sekiranya berlaku kerosakan pada radar penjejak, pemproses atau antaramuka. Ketepatan dan kejitian arah tembakan menggunakan kawalan berkomputer bergantung kepada sistem kawalan meriam tersebut manakala ketepatan dan kejitian arah tembakan secara manual bergantung kepada kecekapan pengendali meriam tersebut.

Tembakan oleh meriam kapal dilakukan menggunakan sistem kawalan meriam dengan bantuan komputer terutamanya untuk sasaran udara dengan halaju yang tinggi iaitu antara 200 km/j hingga 2,000 km/j.

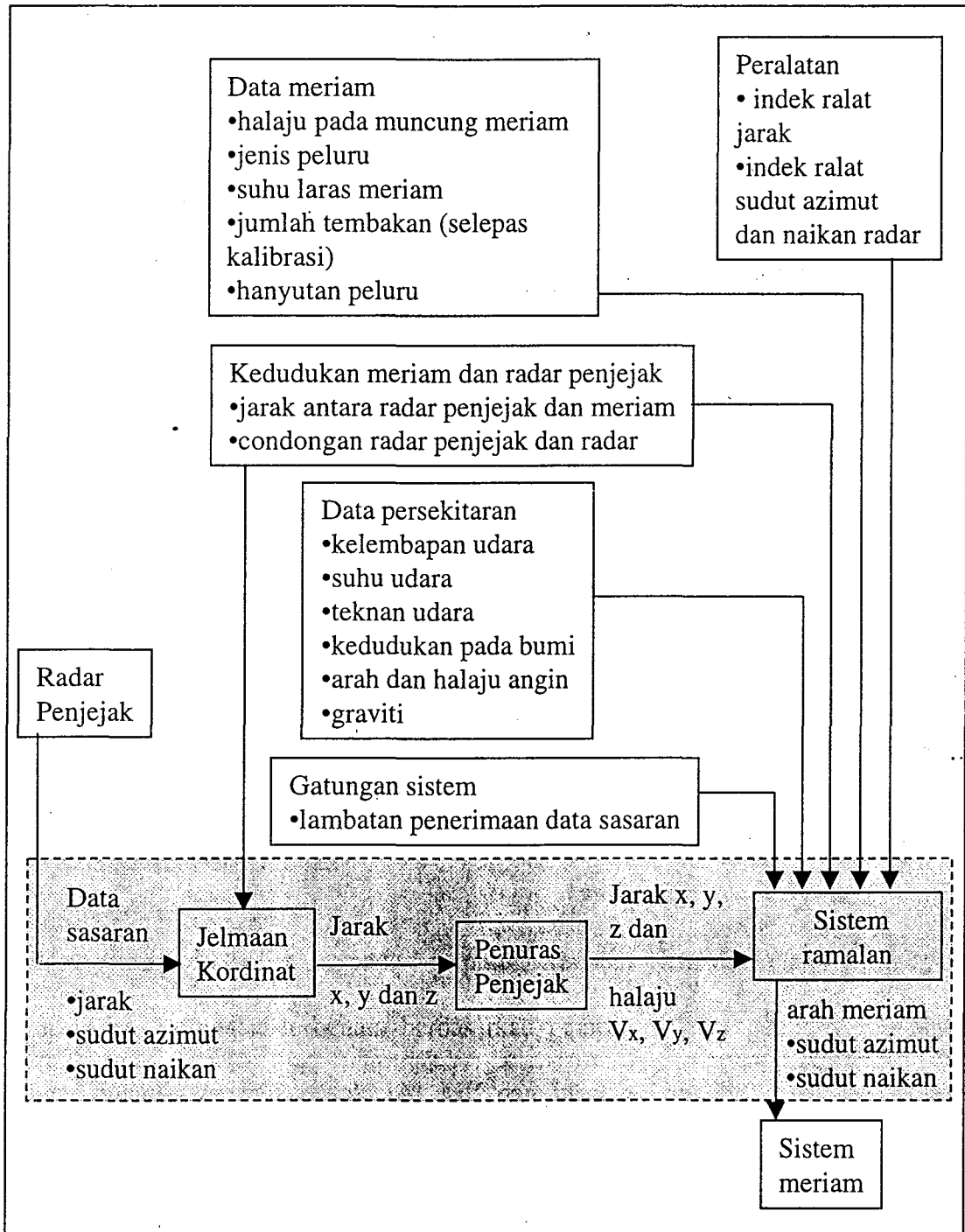
Masalah ketepatan dan kejitian sasaran udara telah dapat diatasi dengan menggunakan peluru berfius seperti diterangkan pada Para 2.2.1 di atas.

2.2.3 Meriam Udara

Meriam udara adalah meriam yang dipasang pada jet pejuang, kapal terbang atau helikopter dan digunakan ketika berada di udara. Ia hanya digunakan bagi menembak sasaran dalam jarak yang dekat (kurang daripada 1,000 meter) dan boleh dilihat dengan mata kasar. Sasaran tembakan adalah samada udara, laut atau darat dan laras meriam dikawal secara manual dimana ketepatan dan kejitian arah tembakan bergantung kepada kecekapan pengendali meriam tersebut.

2.3 Sistem Kawalan Meriam Darat

Sistem kawalan meriam darat terdiri daripada tiga bahagian utama iaitu radar penjejak, sistem pemproses dan sistem meriam. Rajah 2.3 di bawah menunjukkan gambarajah blok bagi sistem kawalan meriam darat komersial.



Rajah 2.3: Sistem kawalan meriam darat

2.3.1 Radar Penjejak

Radar penjejak berfungsi menjejak sasaran dan menghasilkan data kedudukan sasaran iaitu jarak, sudut azimut dan sudut naikan sasaran. Bagi radar yang mempunyai kemudahan kesan *Doppler*, data tambahan yang dihasilkan adalah halaju dan arah sasaran. Untuk radar yang tidak menyediakan kemudahan kesan *Doppler*, halaju dan arah pergerakan sasaran perlu ditentukan oleh pemproses yang terdiri daripada komputer berkuasa tinggi. Data daripada radar penjejak terdiri daripada hingar warna dan akan dituras oleh pemproses.

Radar penjejak yang disimulasi adalah berdasarkan kepada jenis GEC model 1802 yang menghasilkan data kedudukan sasaran dengan frekuensi 10 Hz. Simulasi dalam kes ini adalah untuk sasaran yang bergerak dengan lurus dan pecutan adalah sifar. Simulasi yang dilakukan oleh Radhakisan (1986) adalah untuk sasaran bergerak dengan membelok dimana terdapat pecutan 5g berdasarkan radar yang menghasilkan data sasaran dalam frekuensi yang lebih besar iaitu 50 Hz. Tembakan adalah sukar menepati sasaran untuk pergerakan sasaran membelok dengan cepat seperti simulasi oleh Radhakisan (1986) iaitu 5g dimana $g = 9.78049 \text{ m/s}^2$.

2.3.2 Sistem Pemproses

Sistem pemproses terdiri daripada komputer terbenam yang dilengkapi perkakasan antaramuka. Komputer terbenam berdasarkan pemproses intel pentium 300 MHz dengan ingatan capaian rawak 128 MB dan ingatan kilat 500 MB. Perkakasan antaramuka adalah bagi penghantaran data arahan kepada meriam iaitu sudut azimut dan naikan manakala penerimaan data pula adalah daripada radar penjejak, sistem giro. Tugas utama pemproses adalah:

1. Menerima data kedudukan sasaran daripada radar penjejak iaitu jarak, sudut azimut dan sudut naikan.
2. Melakukan jelmaan koordinat. Data keluaran daripada radar penjejak adalah dalam koordinat sfera (Radhakisan, 1986) yang terdiri daripada jarak, sudut azimut dan sudut naikan. Jelmaan koordinat dilakukan bagi mendapatkan data sasaran dalam koordinat kartesian iaitu jarak untuk paksi x, y dan z. Jelmaan koordinat adalah bagi memudahkan pengiraan balistik dan ramalan (Bab 5) yang bergantung kepada pergerakan kapal, kedudukan radar penjejak, kedudukan meriam dan panjang laras meriam (Radhakisan, 1986).
3. Menuras data masukan yang diterima daripada radar penjejak. Penuras penjejak digunakan bagi menuras hingar yang wujud dalam data sasaran dan menentukan halaju sasaran.
4. Meramal arah tembakan meriam iaitu sudut azimut dan naikan laras meriam. Ramalan arah tembakan meriam dilakukan berdasarkan kepada parameter-parameter yang mempengaruhi pergerakan peluru meriam dan sasaran iaitu data pergerakan sasaran, data persekitaran, gantungan sistem, peralatan, data meriam, kedudukan meriam dan kedudukan radar.
5. Arah tembakan meriam yang telah diramal iaitu sudut azimut dan naikan meriam dihantar kepada meriam melalui antaramuka, supaya tembakan yang dibuat adalah tepat pada titik pintasan. Titik pintasan adalah titik dimana peluru meriam mengenai sasaran setelah tembakan dibuat.

2.3.3 Sistem Meriam

Sistem meriam menerima isyarat masukan iaitu sudut naikan dan sudut azimuth daripada pemproses bagi menghalakan arah meriam supaya tembakan mengenai tepat pada sasaran. Simulasi yang dilakukan adalah berdasarkan meriam bersaiz 57mm jenis Bofors dengan fungsi pindah dalam domain s seperti pada Persamaan 2.1 di bawah:

$$G_m(s) = \frac{1}{(1 + 0.0225s)(1 + 0.0125s)(1 + 0.01s)} \quad 2.1$$

Berikut adalah spesifikasi meriam tersebut:

1. Kadar tembakan maksima boleh dicapai: 200 tembakan/ minit
2. Jarak maksima tembakan sasaran udara udara: 8,000 meter
3. Jarak maksima tembakan sasaran darat: 14,000 meter
4. Berat peluru: 5.9 kg
5. Halaju peluru pada muncung meriam: 1,000 m/s
6. Masa penerbangan peluru untuk 3,000 meter: 3.8 s
7. Diameter luar laras: 70 mm
8. Diameter lubang laras: 57 mm
9. Panjang laras: 4,000 mm
10. Tekanan maksima ketika tembakan: 3,250 kg/cm²
11. Julat sudut naikan: -10° hingga 75°
12. Julat sudut azimuth: tiada had (0° - 360°)
13. Laju naikan: 40°/s
14. Laju azimuth: 55°/s
15. Pecutan naikan: 80°/s²

16. Pecutan azimut: $90^\circ/s^2$
17. Kuasa digunakan: 45 kW
18. Voltan rujukan: 115 Volt 400 Hz
19. Sumber kuasa masukan: 3 x 440 Volt 60 Hz

BAB 3: TEKNIK PENJEJAKAN SASARAN

3.1 Teori Radar Penjejak

Radar penjejak digunakan untuk mendapatkan maklumat kedudukan dan pergerakan sesuatu objek iaitu jarak dan halaju sambil menjejaknya. Tujuan jejak dilakukan adalah untuk meramal arah tembakan yang sesuai supaya tembakan yang akan dilakukan adalah tepat pada sasaran.

Perkataan radar adalah kependekan daripada *radio detection and ranging*. Secara amnya radar terdiri daripada pemancar, penerima dan antena. Pemancar menghasilkan tenaga elektrik pada frekuensi radio dalam bentuk pancaran elektromagnet dan dimasukkan melalui pemandu arah gelombang kepada antena pemancar untuk dipancarkan. Pancaran gelombang elektromagnet merambat pada halaju cahaya iaitu 3×10^8 m/s.

Perambatan adalah dalam garis lurus dan jika sebahagian kecil tenaga yang dipancarkan mengenai sasaran, sebahagiannya akan diserap dan selebihnya dipantul. Tenaga elektromagnet yang dipantul akan dikesan oleh antena penerima dan dihantar kepada penerima bagi tujuan pengiraan jarak dan halaju.

Kekuatan tenaga elektromagnet yang dipantulkan adalah bergantung kepada saiz, bentuk dan kekonduktoran sesuatu objek. Objek biasa seperti tanah, bukit dan air juga

berkebolehan memantulkan gelombang tersebut. Pantulan yang kuat dihasilkan oleh objek yang berasaskan besi seperti kapal, pesawat udara dan sebagainya.

Kuasa isyarat yang dihasilkan oleh pemancar mestilah amat tinggi iaitu antara 100 hingga 1,000 kW. Ini adalah kerana kehilangan tenaga semasa pancaran dan pantulan adalah amat tinggi dimana kekuatan isyarat pantulan yang sampai kepada antena penerima adalah sangat kecil iaitu lingkungan 1 pW (10^{-12} W).

Terdapat dua teknik penjejakan yang lazimnya digunakan iaitu:

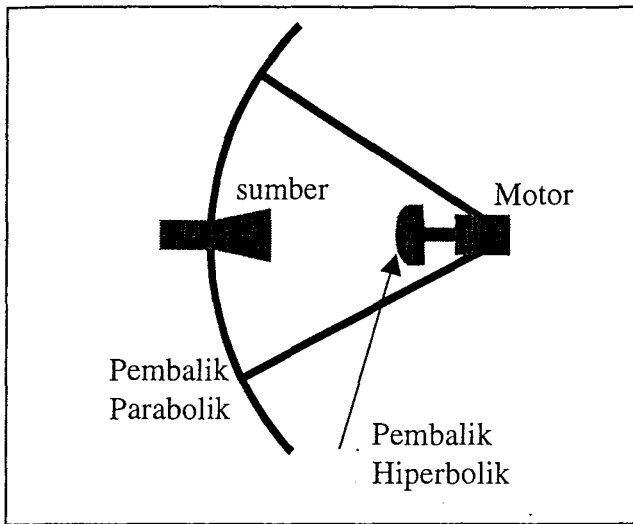
1. pengesanan kon
2. radar unidenyut

3.2 Pengesanan Kon

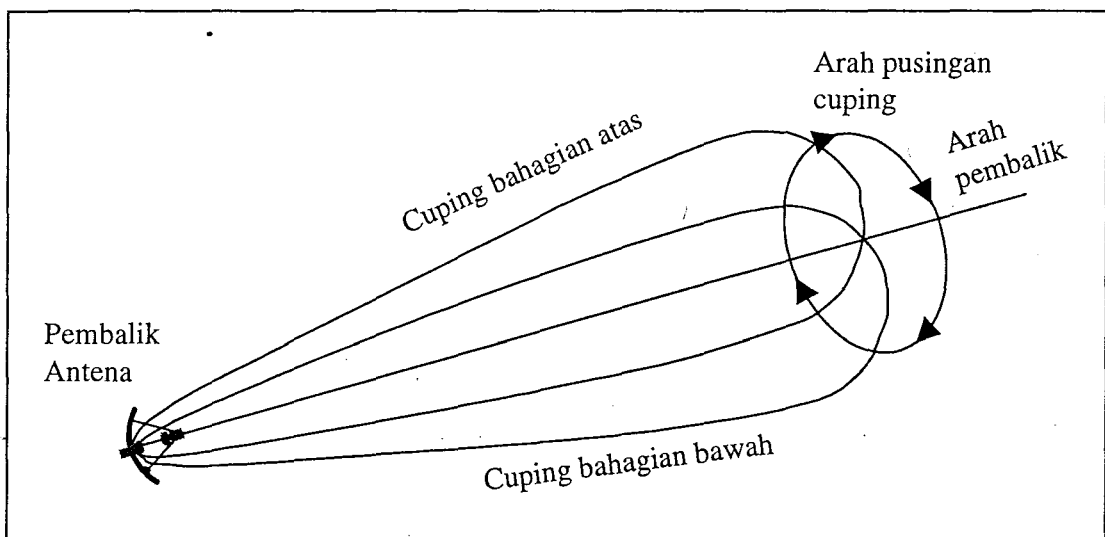
Rajah 3.1 di bawah menunjukkan rupabentuk antena yang digunakan bagi penjejakan sasaran menggunakan teknik pengesanan kon. Pancaran gelombang elektromagnet dikawal supaya bergerak di tengah-tengah arah antena membentuk bulatan seperti yang ditunjukkan pada Rajah 3.2 di bawah. Jika sasaran berada pada pusat bulatan, tenaga yang diterima adalah tetap dan jika sasaran berada di luar pusat bulatan, tenaga yang diterima akan berubah-ubah.

Kaedah pengesanan kon menggunakan pembalik parabolik tetap dan pembalik hiperbolik berpusing. Sumber adalah tetap tidak bergerak. Kaedah pengesanan kon dilakukan dengan memusingkan pembalik hiperbolik. Ini adalah disebabkan pusingan yang laju diperlukan. Bila sasaran berada di salah satu kedudukan arah pembalik parabolik, isyarat balikan akan berubah-ubah dengan pusingan cuping. Perubahan ini dikesan oleh pengesanan fasa dengan frekuensi pusingan cuping sebagai rujukan.

Dengan menggunakan dua pengesan, salah satu mempunyai rujukan yang diubah fasa sebanyak 90° , dua isyarat ralat akan didapati iaitu sudut azimut dan naikan.



Rajah 3.1 Antena radar pengesanan kon



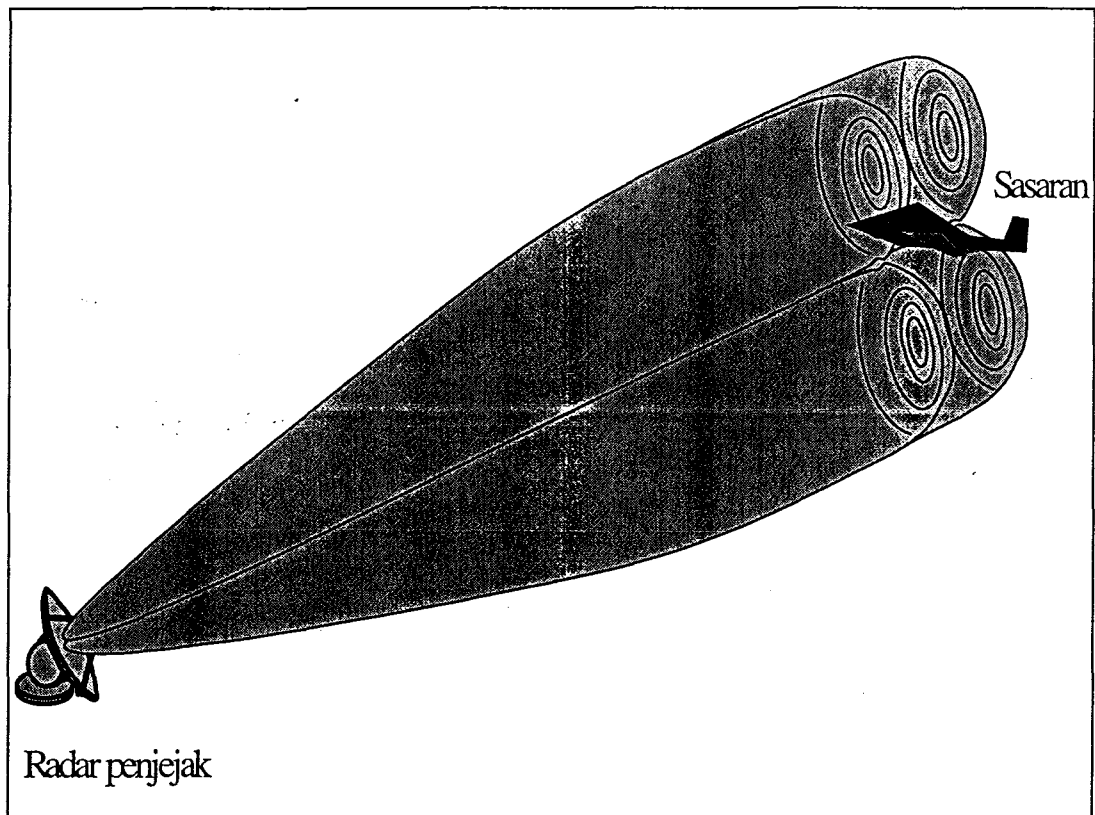
Rajah 3.2 Pancaran gelombang elektromagnet radar pengesanan kon

Sudut azimut dan naikan diperolehi daripada kotak analisis servo iaitu dalam bentuk *synchro* dan ditukar kepada digital oleh penukar *synchro* kepada digital, manakala jarak diperolehi daripada pemancar/penerima dalam bentuk analog dan ditukar kepada digital menggunakan penukar analog kepada digital.

3.3 Radar Unidenyut

Bagi radar penjejak dengan antena dwi-denyut amplitud, terdapat empat cuping pancaran gelombang eletromagnet dihasilkan seperti ditunjukkan pada Rajah 3.3 di bawah.

Sudut naikan dan sudut azimuth dikawal supaya empat cuping gelombang elektromagnet sentiasa berada ditengah-tengah sasaran. Apabila sasaran berada ditengah-tengah empat cuping gelombang elektromagnet tersebut, sasaran tersebut dikunci bagi menjejak kedudukannya. Sasaran akan sentiasa berada di tengah-tengah empat cuping pancaran gelombang eletromagnet selagi ia dikunci. Sudut azimuth dan sudut naikan kemudiannya dihantar kepada pemproses melalui antaramuka.



Rajah 3.3 Pancaran gelombang elektromagnet radar unidenyut

3.4 Pengukuran Arah

Pancaran denyut radar yang dipantulkan oleh objek terdiri daripada empat yang boleh ditukar kepada penjumlahan isyarat (Σ) iaitu perbezaan naikan ($\delta\theta_{ER}$) dan perbezaan azimut ($\delta\phi_{AR}$). Sudut naikan dikira menggunakan Persamaan 3.1 (George, 1990) di bawah:

$$\text{Naikan } (\theta_{ER}) = \frac{|\delta\theta_{ER}|}{|\Sigma| \cos(\phi)} \quad 3.1$$

dimana ϕ = sudut fasa antara (θ_{ER}) dan penjumlahan isyarat (Σ)

Sudut azimut dikira menggunakan Persamaan 3.2 (George, 1990) di bawah:

$$\text{azimut } (\phi_{AR}) = \frac{|\delta\phi_{AR}|}{|\Sigma| \cos(\theta)} \quad 3.2$$

dimana θ = sudut fasa antara (ϕ_{AR}) dan penjumlahan isyarat (Σ)

3.5 Pengukuran Jarak

Bagi tujuan pengiraan jarak, isyarat pancaran dimodulasikan bagi menentukan masa antara isyarat yang dipancar dan isyarat yang diterima. Modulasi membolehkan penentuan masa lengahan antara isyarat pancaran dan pantulan dilakukan. Masa lengahan tersebut adalah masa yang diambil untuk memancar isyarat daripada antenna pemancar dan menerima kembali isyarat yang dipantulkan oleh objek. Oleh kerana halaju rambatan gelombang telah diketahui iaitu 3×10^8 m/s maka jarak antara objek dan antenna boleh dikira menggunakan Persamaan 3.3 (George, 1990) di bawah:

$$R = \frac{cT}{2} \quad 3.3$$

dimana: R = jarak sasaran

c = halaju cahaya

T = perbezaan masa antara isyarat yang dipancar dan diterima

Faktor 2 pada Persamaan 3.3 di atas adalah kerana isyarat merambat untuk dua jarak R iaitu kepada dan daripada sasaran.

Gelombang radio elektromagnet merambat secara lurus dengan halaju tetap. Ini menjadikannya sebagai teknik pengukuran jarak yang cepat dan berkesan.

3.6 Pengukuran Halaju

Halaju objek boleh diukur menggunakan kesan *Doppler*. Frekuensi gema isyarat yang dipantulkan daripada objek adalah berbeza berbanding dengan frekuensi yang dipancarkan. Perbezaan frekuensi (δf) antara gelombang yang dipancar dan diterima adalah seperti pada Persamaan 3.4 (George, 1990) di bawah:

$$\delta f = \frac{2 f_o v}{C} \quad 3.4$$

dimana: f_o = frekuensi gelombang pancaran

v = halaju objek

c = halaju perambatan gelombang elektromagnet

3.7 Simulasi Penjejakan Sasaran

Simulasi dilakukan menggunakan Matlab Simulink. Nilai parameter yang digunakan dalam simulasi adalah berdasarkan nilai kebiasaan bagi radar penjejak sebenar.

Diandaikan sasaran bergerak menuju kearah kedudukan radar dengan nilai awal data sasaran iaitu pada masa $t=0$ ialah:

- Jarak kedudukan sasaran, $R = 9,380$ meter
- Sudut naikan kedudukan sasaran, $\theta_{ER} = 11.0622^\circ$
- Sudut azimut kedudukan sasaran, $\phi_{AR} = 54.5491^\circ$

Pergerakan sasaran diandaikan malar dimana:

- Halaju pergerakan sasaran, $V = 250$ m/s
- Sudut naikan pergerakan sasaran, $\theta_{EV} = 235.0000^\circ$
- Sudut azimut pergerakan sasaran, $\phi_{AV} = -10.0000^\circ$

Frekuensi data daripada radar penjejak diandaikan 10 Hz iaitu masa persampelan 0.1 saat dan pengukuran dibuat selama 30 saat iaitu sebanyak 300 sampel data diambil.

Radar penjejak diandaikan dicemari oleh hingar warna dan pergerakan sasaran adalah tetap.

Data kedudukan sasaran yang dihasilkan oleh radar penjejak adalah dalam koordinat sfera. Graf pada Rajah 3.1, 3.2 dan 3.3 di bawah masing-masing menunjukkan jarak sasaran lawan masa, sudut azimut sasaran lawan masa dan sudut naikan sasaran lawan masa yang diperolehi daripada simulasi radar penjejak untuk jangkamasa 30 saat. Data sasaran tersebut dicemari oleh hingar warna.