



PROFIL GERAK PELURU DENGAN *SPIN* DAN HAMBATAN LINIER

SKRIPSI

Oleh :
A. RIDO
NIM 051810101112

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013



PROFIL GERAK PELURU DENGAN *SPIN* DAN HAMBATAN LINIER

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Matematika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh :
A. RIDO
NIM 051810101112

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan untuk:

1. Ayahanda Sawi dan Ibunda Tinarmi yang tercinta;
2. Kakanda Ahmad Yusuf, Kakanda Ahmad Isro', Yunda Faridatun Sa'diyah, dan Adinda Ilmi Fatmawati;
3. Rafi, Faiz, Ifa, dan Sinta;
4. guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
5. Almamater Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

MOTTO

Dan bersabarlah dalam menunggu ketetapan Tuhanmu, maka sesungguhnya
kamu berada dalam penglihatan Kami, dan bertasbihlah dengan memuji
Tuhanmu ketika kamu bangun berdiri.
(terjemahan Surat *Ath-Thuur* ayat 48)^{*)}

^{*)} Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : A. Rido

NIM : 051810101112

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul ” Profil Gerak Peluru dengan *Spin* dan Hambatan Linier ” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 04 Januari 2013

Yang menyatakan,

A. Rido
NIM 051810101112

SKRIPSI

PROFIL GERAK PELURU DENGAN *SPIN* DAN HAMBATAN LINIER

Oleh

A. Rido
NIM 051810101112

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Moh. Hasan, M.Sc., Ph.D

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Rusli Hidayat, M.Sc

PENGESAHAN

Skripsi berjudul ” Profil Gerak Peluru dengan *Spin* dan Hambatan Linier ” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

Drs. Moh. Hasan M.Sc., Ph.D.
NIP. 196404041988021001

Drs. Rusli Hidayat, M.Sc.
NIP. 196610121993031001

Anggota I,

Anggota II,

Prof. Drs. Kusno, DEA., Ph.D.
NIP 196101081986021001

Agustina Pradjaningsih, S.Si., M.Si
NIP 197108022000032009

Mengesahkan
Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA., Ph.D.
NIP 196101081986021001

RINGKASAN

Profil Gerak Peluru dengan *Spin* dan Hambatan Linier; A. Rido, 051810101112; 2013; 41 halaman; Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Gerak peluru merupakan salah satu gerak yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, misalnya gerakan bola tenis saat dipukul oleh pemain dan peluncuran rudal oleh seorang pilot yang ditujukan pada sasaran tertentu. Pada penelitian ini, akan dianalisis gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier, dimana *spin* yang dianalisis adalah *topspin* dan *backspin*. Pada penelitian ini akan dikaji profil gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier jika parameter-parameter yang mempengaruhi gerak peluru divariasikan, dengan beberapa asumsi yaitu aliran udaranya bersifat *laminar*, kerapatan dan *viskositas* udaranya konstan, serta benda yang ditembakkan berbentuk bola. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui profil gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier sehingga dari profil tersebut dapat dimanfaatkan sebagai acuan bagi masalah-masalah yang berkaitan dengan gerak peluru dan juga menambah pengetahuan tentang gerak peluru yang mengalami *spin*.

Penelitian tentang gerak peluru ini terbagi menjadi tiga tahap yaitu penentuan parameter, pembuatan program, dan simulasi dan visualisasi serta analisis hasil. Parameter-parameter yang digunakan diambil dari beberapa literatur yang berkaitan dengan gerak peluru dan beberapa literatur mekanika. Setelah menentukan parameter, akan dilanjutkan dengan pembuatan program dengan bantuan *software* Matlab R2009a, dimana dalam langkah ini akan diberikan algoritma program dari simulasi gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier. Kemudian dilanjutkan dengan tahap akhir yaitu dilakukan simulasi dan visualisasi dengan cara meng-*input* parameter-parameter yang telah ditentukan sebelumnya dan kemudian menganalisis *output* dari simulasi dan visualisasi tersebut.

berdasarkan simulasi dan visualisasi yang telah dilakukan, dihasilkan profil gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier. Bola yang ditembakkan dengan topspin dan *backspin* akan mengalami pembelokan *lateral* yaitu pembelokan terhadap lintasan bola yang ditembakkan tanpa *spin*. Semakin besar frekuensi *spin*, maka semakin besar pula pembelokan *lateral* yang dihasilkan. Bola yang ditembakkan dengan *topspin* akan semakin menukik tajam dan ketinggian maksimumnya semakin kecil. Sedangkan, bola yang ditembakkan dengan *backspin* akan semakin terangkat ke atas dan ketinggian maksimumnya semakin besar. Pada saat bola ditembakkan dengan ketinggian, maka bola yang ditembakkan dengan *topspin* akan berbalik arah tetapi bola yang ditembakkan dengan *backspin* akan semakin jauh ke samping. Pada saat berada pada ketinggian dan sudutnya divariasikan, maka jarak maksimum didapatkan pada sudut tembakan paling kecil. Namun ketinggian maksimum (baik bola ditembakkan dengan ketinggian maupun tanpa ketinggian) didapatkan pada sudut tembakan paling besar.

Variasi jari-jari dan massa serta kecepatan awal bola juga mempengaruhi profil dari kedua gerak peluru tersebut. Pada variasi jari-jari bola, semakin besar jari-jari bola yang diberikan, maka didapatkan jarak dan ketinggian maksimumnya semakin kecil tetapi pembelokan lateralnya semakin besar. Pada variasi massa bola, semakin besar massa bola maka jarak dan ketinggian maksimum yang dihasilkan semakin besar pula tetapi pembelokan lateralnya semakin kecil. Pada saat kecepatan awal bola divariasikan, jarak dan ketinggian maksimum dihasilkan pada kecepatan awal yang lebih besar.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Profil Gerak Peluru dengan *Spin* dan Hambatan Linier”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu Syarat menyelesaikan strata satu (S1) pada Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh Karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Drs. Moh. Hasan, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama, Drs. Rusli Hidayat, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Prof. Drs. Kusno, DEA., Ph.D., dan Agustina Pradjaningsih, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dalam skripsi ini;
3. Ibunda, Ayahanda, saudara-saudara, dan keponakan-keponakan saya tersayang yang telah memberikan do'a dan dorongannya demi terselesaikannya skripsi ini;
4. K.H Iqbal Ridlwan yang telah memberikan spirit dan arahan baik dalam kehidupan kampus, maupun bersosial masyarakat;
5. Sinta, Titi, Arif, dan teman-teman di Pondok Pesantren Nurut Thohir, serta teman-teman angkatan 2005 yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung;
6. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Januari 2013

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--------------------------------------|-------------|
| HALAMAN JUDUL | Ii |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | Iii |
| HALAMAN MOTTO | Iv |
| HALAMAN PERNYATAAN | V |
| HALAMAN PENGESAHAN | Vii |
| RINGKASAN | Viii |
| PRAKATA | X |
| DAFTAR ISI | Xi |
| DAFTAR TABEL | Xiii |
| DAFTAR GAMBAR | Xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | Xv |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan | 3 |
| 1.4 Manfaat | 3 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1 Gaya | 4 |
| 2.1.1 Gaya Gravitasi | 5 |
| 2.1.2 Gaya Gesek | 5 |
| 2.1.3 Gaya Magnus | 6 |
| 2.2 Bilangan Reynold | 7 |
| 2.3 Hukum Newton | 8 |
| 2.3.1 Hukum I Newton | 9 |
| 2.3.2 Hukum II Newton | 9 |

| | |
|---|----|
| 2.3.3 Hukum III Newton | 10 |
| 2.4 Gerak Peluru dengan <i>Spin</i> | 10 |
| 2.5 Persamaan Diferensial | 12 |
| 2.5 Metode Runge-Kutta | 13 |
| BAB 3. METODE PENELITIAN | 16 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | 21 |
| 4.1 Hasil | 21 |
| 4.4.1 Penentuan Parameter | 21 |
| 4.4.2 Pembuatan Program | 21 |
| 4.3.1 Simulasi dan Visualisasi serta Analisis Hasil | 23 |
| 4.2 Pembahasan | 34 |
| BAB 5. PENUTUP | 40 |
| 5.1 KESIMPULAN | 40 |
| 5.2 SARAN | 41 |
| DAFTAR PUSTAKA | 42 |
| LAMPIRAN | 43 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|-----------|
| Tabel 4.1 Hasil simulasi gerak peluru dengan <i>spin</i> dan hambatan linier | 33 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Ilustrasi gaya-gaya dan arah gayanya pada gerak peluru | 5 |
| 2.2 Ilustrasi bola dengan <i>spin</i> | 6 |
| 2.3 Grafik <i>trend</i> hubungan antara kecepatan dan bilangan Reynold | 8 |
| 3.1 Skema metode penelitian | 16 |
| 3.2 <i>Flowchart</i> program gerak peluru dengan <i>spin</i> dan hambatan linier | 20 |
| 4.1 Tampilan grafis hasil simulasi program gerak peluru dengan <i>spin</i> dan hambatan linier | 22 |
| 4.2 Lintasan gerak peluru dengan <i>spin</i> dan hambatan linier dengan frekuensi <i>spin</i> no | 24 |
| 4.3 Lintasan gerak peluru dengan <i>spin</i> dan hambatan linier dengan frekuensi <i>spin</i> 0 put/s, 25 put/s, dan 50 put/s | 25 |
| 4.4 Lintasan gerak peluru dengan <i>spin</i> dan hambatan linier dengan jari-jari 1×10^{-3} m dan 8×10^{-4} m | 26 |
| 4.5 Lintasan gerak peluru dengan <i>spin</i> dan hambatan linier menggunakan massa 2×10^{-5} kg dan 8×10^{-5} kg | 27 |
| 4.6 Lintasan gerak peluru dengan <i>spin</i> dan hambatan linier menggunakan kecepatan 0.65 m/s dan 0.55 m/s | 28 |
| 4.7 Lintasan gerak peluru dengan <i>spin</i> dan hambatan linier menggunakan posisi awal $x(t_0) = 0, y(t_0) = 0$ dan $x(t_0) = 0, y(t_0) = 15$ | 30 |
| 4.8 Lintasan gerak peluru dengan <i>spin</i> dan hambatan linier menggunakan sudut tembakan $15^0, 30^0, 45^0, 60^0$, dan 75^0 | 31 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|--------------------------------|---------|
| A. Frekuensi <i>Spin</i> | 43 |
| B. Jari-jari Bola | 44 |
| C. Massa Bola | 45 |
| D. Kecepatan Awal | 45 |
| E. Posisi Awal | 46 |
| F. Sudut tembakan | 58 |
| G. Gerak peluru | 59 |
| H. Runge-Kutta | 54 |
| I. Proses | 56 |

BAB 1. PENDAHULUAN

1.5 Latar Belakang

Gerak peluru merupakan kejadian yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, misalnya gerakan bola tenis saat dipukul oleh pemain dan peluncuran rudal oleh seorang pilot yang ditujukan pada sasaran tertentu. Secara geometri, gerak peluru membentuk lintasan parabola. Hal ini disebabkan oleh pengaruh gaya gravitasi bumi. Gaya gravitasi menyebabkan benda yang ditembakkan dengan sudut elevasi tertentu kecepatannya semakin berkurang dan pada saat mencapai ketinggian maksimum kecepatannya nol, untuk selanjutnya benda mengalami percepatan ke bawah sampai akhirnya benda menyentuh permukaan tanah. Gaya lain yang mempengaruhi gerak peluru adalah gaya hambat udara, yaitu gaya yang bekerja karena adanya gesekan antara benda dengan udara dan arahnya berlawanan dengan arah gerak benda yang menyebabkan lintasan gerak peluru menjadi lebih pendek jika dibandingkan dengan gerak peluru tanpa hambatan udara.

Berkenaan dengan gerak peluru, Hidayat (2006) telah mengkaji tentang model gerak peluru dengan hambatan linier dan mengasumsikan peluru tidak mengalami *spin*. Hidayat menganalisis pengaruh hambatan udara linier terhadap lintasan, ketinggian maksimum dan jarak maksimum suatu peluru dibandingkan dengan gerak peluru tanpa hambatan udara. Ainurrafiq (2011) melakukan simulasi dan visualisasi gerak peluru tanpa hambatan dan dengan hambatan udara dengan memvariasi parameter-parameter yang mempengaruhi gerak peluru tersebut. Hasilnya disimpulkan bahwa jarak maksimum dan ketinggian maksimum simulasi gerak peluru dengan hambatan linier lebih dibandingkan dengan hasil simulasi gerak peluru

tanpa hambatan udara. Disamping itu, lintasan gerak peluru dengan hambatan udara tidak lagi berbentuk parabola, malainkan mendekati bentuk parabola.

Benda yang meluncur di udara adakalanya tidak mengalami putaran dan adakalanya mengalami putaran. Benda yang melayang di udara sambil berputar akan memecah udara yang ada disekitar sehingga terjadi perbedaan tekanan antara sisi yang satu dengan sisi yang lain. Perbedaan tekanan pada kedua sisi tersebut menimbulkan terjadinya pembelokan *lateral* yang dikenal dengan efek Magnus, sedangkan gaya yang ditimbulkan disebut dengan gaya Magnus. Gaya Magnus adalah gaya yang timbul karena adanya *spin* pada peluru yaitu gerakan memutar pada sumbu tertentu dan arah gaya Magnus tegak lurus arah gerak peluru. Dengan demikian, jika suatu peluru yang bergerak di udara mengalami *spin*, maka gaya yang mempengaruhi gerak peluru adalah gaya gravitasi, gaya hambat udara, dan gaya Magnus. Secara garis besar, peluru yang ditembakkan memiliki tiga jenis *spin* dasar yaitu *spin* ke depan (*topspin*), *spin* ke belakang (*backspin*), dan *spin* ke samping (*slidespin*). Pada *topspin* peluru berotasi searah dengan arah gerak majunya sedangkan *backspin* berlawanan dengan arah gerak majunya, dan *slidespin* tegak lurus arah gerak majunya (Surya, tanpa tahun).

Dianto (2011) telah mengkaji tentang tendangan pisang pada permainan sepak bola. Dianto melakukan kajian secara analitis teoritis pengaruh *spin* terhadap pembelokan bola yang melintas di udara pada permainan sepak bola berdasarkan hukum Bernoulli dengan mengabaikan hambatan udara. Kesimpulan dari penelitiannya yaitu lintasan gerak bola yang memiliki *spin* mengalami pembelokan *lateral* akibat adanya efek Magnus. Pembelokan *lateral* adalah pembelokan menjauhi lintasan yang biasanya dilalui oleh benda ketika tidak mengalami *spin*. Pembelokan *lateral* proporsional dengan kekuatan awal *spin*. Semakin meningkat frekuensi *spin* bola akan mengakibatkan pembelokan *lateral* yang semakin besar. Sebaliknya, semakin berkurang frekuensi *spin* bola akan mengakibatkan pembelokan *lateral* yang semakin kecil. Pada penjelasan sebelumnya telah disebutkan bahwa dalam kehidupan

nyata ada beberapa kejadian yang berkaitan dengan gerak peluru yang mengalami *spin*. Berdasarkan uraian tersebut, menarik untuk dikaji tentang simulasi gerak peluru dengan *spin* dan hambatan udara sehingga dari simulasi tersebut dapat diketahui profilnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah bagaimana profil gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier dengan memvariasi parameter dan arah *spin*-nya. Adapun parameter-parameter yang akan divariasi yaitu jari-jari bola, massa bola, kecepatan awal, posisi awal, sudut elevasi, dan frekuensi *spin*. Arah *spin* yang akan divariasi yaitu *topspin* dan *backspin*. Dalam skripsi ini terdapat beberapa asumsi yaitu aliran udaranya bersifat laminar, kerapatan dan *viskositas* udaranya konstan serta pelurunya berbentuk bola.

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah di atas, dapat ditentukan tujuan dari skripsi ini adalah untuk mengetahui profil gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier dengan memvariasi arah *spin* dan parameter-parameternya.

1.4 Manfaat

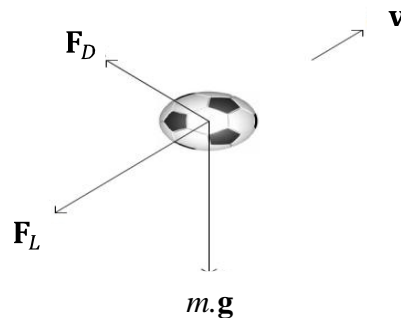
Adapun manfaat yang dapat diambil dalam penulisan skripsi ini sebagai berikut:

1. dapat digunakan sebagai acuan bagi masalah-masalah yang berkaitan dengan gerak peluru yang memiliki *spin* seperti peluncuran rudal, tendangan pisang dalam permainan sepak bola, dan *smash* dalam permainan tenis;
2. dapat membedakan profil gerak peluru dengan *topspin* dan *backspin* untuk berbagai parameter.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gaya

Gaya adalah besaran vektor yang berupa tarikan atau dorongan yang berasal dari kekuatan luar yang dikenakan pada suatu benda. Gaya dapat menyebabkan perubahan gerak atau perubahan kecepatan yang menyebabkan adanya percepatan pada suatu benda. Pada sistem dua benda, gaya terbagi menjadi dua yaitu gaya interaksi dan gaya kontak. Gaya interaksi adalah gaya yang ditimbulkan oleh suatu benda pada benda lain walaupun letaknya berjauhan. Contoh gaya interaksi adalah gaya gravitasi, gaya listrik, dan gaya magnet. Gaya kontak adalah gaya yang terjadi hanya pada benda-benda yang bersentuhan. Contoh gaya kontak adalah gaya normal, gaya gesek, dan gaya tegang tali (Sarojo, 2002). Pada gerak peluru, ada dua macam gaya yang terlibat yaitu gaya gravitasi dan gaya hambat udara (hambatan udara). Hal ini terjadi apabila peluru diasumsikan tidak berputar saat melayang di udara. Ketika peluru bergerak sambil berputar, maka akan menimbulkan gaya yang dikenal dengan nama Gaya Magnus. Dengan demikian, jika peluru bergerak sambil berputar, maka terdapat tiga gaya yang bekerja yaitu gaya gravitasi, gaya hambat udara, dan Gaya Magnus. terdapat dua gaya Magnus yaitu gaya angkat dan gaya menyamping. Gaya menyamping terjadi apabila peluru mengalami *slidespin*. Dalam dalam skripsi ini gaya menyamping diabaikan karena peluru diasumsikan tidak mengalami *slidespin*. Gambar 2.1 menunjukkan gaya-gaya yang bekerja beserta arah gaya yang akan dibahas dalam skripsi ini, dimana $m \cdot \mathbf{g}$ adalah gaya gravitasi bumi, \mathbf{F}_D adalah gaya hambat udara atau yang lebih dikenal dengan hambatan udara, dan \mathbf{F}_L adalah gaya angkat atau Gaya Magnus.



Gambar 2.1 Ilustrasi gaya-gaya dan arah gayanya pada gerak peluru

2.1.1 Gaya Gravitasi

Gaya gravitasi merupakan salah satu gaya yang mempengaruhi gerak peluru. Peluru yang bergerak di udara memperoleh suatu percepatan yang menuju pusat bumi. Percepatan seperti ini dinamakan sebagai percepatan gravitasi bumi. Mengingat peluru memiliki suatu massa tertentu, maka pada peluru bekerja suatu gaya yang disebut gaya berat yaitu gaya yang ditimbulkan karena adanya tarikan oleh bumi. Secara matematis, gaya ini dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\mathbf{F}_b = m \cdot \mathbf{g}, \quad (2.1)$$

Dengan m adalah massa peluru dan \mathbf{g} adalah percepatan gravitasi bumi (Sutrisno, 1997). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam skripsi ini mengacu pada percepatan gravitasi permukaan bumi yaitu $9,8 \text{ m/s}^2$.

2.1.2 Gaya Hambat Udara (Hambatan Udara)

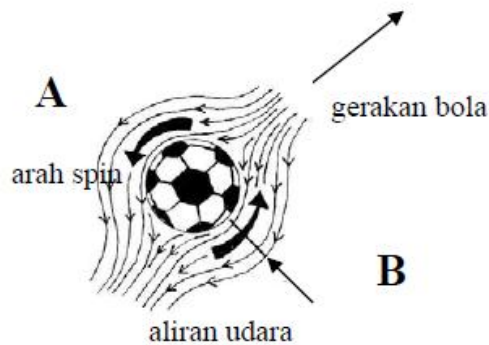
Dalam gerak peluru, gaya gesek terjadi antara benda dengan udara. Gaya ini sering disebut dengan gaya gesek udara atau hambatan udara yaitu gaya yang menghambat pergerakan sebuah benda pada saat benda berada di udara. Hambatan udara yang digunakan dalam skripsi ini adalah hambatan linier, dimana hambatan udara ini dapat dituliskan dengan rumus:

$$\mathbf{F}_{linier} = -6\pi\eta r\mathbf{v}, \quad (2.2)$$

dengan η koefisien gesek udara, r jari-jari bola, dan \mathbf{v} kecepatan bola (Sarojo, 2002).

2.1.3 Gaya Magnus

Gaya lain yang mempengaruhi gerak peluru adalah gaya Magnus. Hal ini terjadi apabila peluru bergerak di udara dan mengalami *spin*. Jika peluru yang bergerak tidak mengalami *spin*, maka gaya Magnusnya sama dengan nol. Gaya Magnus timbul karena adanya perbedaan tekanan di antara kedua sisi benda. Peluru yang berotasi dengan arah tertentu akan mempercepat atau memperlambat kecepatan udara di sekitar peluru tersebut. Ilustrasi tentang *spin* pada bola ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Ilustrasi bola dengan *spin*

Pada saat peluru bergerak di udara sambil berotasi, aliran udara yang searah dengan arah rotasi bola (bagian A) bergerak relatif lebih cepat daripada aliran udara pada sisi lain (bagian B). Menurut hukum Bernoulli, semakin cepat udara mengalir semakin kecil tekanannya. Akibatnya, tekanan pada sisi B lebih besar dibandingkan tekanan di A. Tekanan ini dihasilkan oleh medium udara melalui efek aksi reaksi sesuai hukum III Newton dan menghasilkan gaya yang disebut dengan gaya Magnus yaitu gaya yang timbul karena adanya *spin* pada peluru dan arah gayanya tegak lurus arah gerak peluru. Sedangkan membeloknya bola akibat tekanan udara disebut efek Magnus.

Gaya Magnus terbagi menjadi dua yaitu gaya angkat dan gaya menyamping. Gaya angkat timbul jika benda mengalami *topspin* atau *backspin*, dan gaya

menyamping timbul jika benda mengalami *slidespin*. Dalam skripsi ini peluru diasumsikan tidak mengalami *slidespin* sehingga gaya Magnus yang bekerja hanya gaya angkat dan efek Magnusnya dirumuskan sebagai berikut.

$$\mathbf{F}_L = C_L \rho D^3 f v \mathbf{F}, \quad (2.3)$$

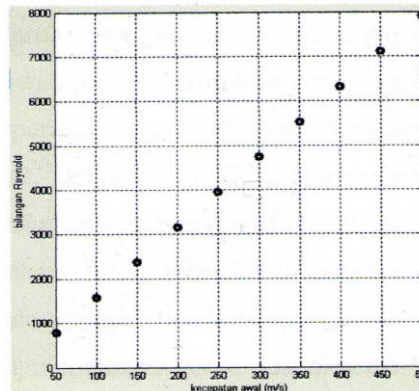
Dengan C_L adalah koefisien lift, ρ adalah kerapatan udara, D adalah diameter peluru, f adalah frekuensi *spin* peluru, dan \mathbf{F} adalah vektor satuan dari gaya Magnus yang arahnya tegak lurus kecepatan peluru dan bergantung pada arah putaran peluru (Wheelan & Hodgson, 1987).

2.2 Bilangan Reynold

Bilangan Reynold merupakan bilangan tak berdimensi atau sering juga disebut dengan bilangan berdimensi satu, dimana dimensi merupakan simbol suatu besaran (Sarojo, 2002). Oleh karena itu, nilai bilangan Reynold tidak bergantung pada sistem satuan yang dipakai (Sutrisno, 1997). Bilangan Reynold biasanya digunakan sebagai acuan dalam gerak peluru untuk menentukan jenis hambatan, koefisien hambatan, dan batas-batas arus pada permukaan peluru yang bersifat laminar atau turbulen. Jika arus bersifat turbulen maka hambatan yang terjadi akan semakin besar (Olson & Wright, 1993). Besar bilangan Reynold sebanding dengan kecepatan benda. Sedangkan persamaannya adalah

$$R_e = \frac{\rho v D}{\eta}, \quad (2.4)$$

Dimana v adalah kecepatan benda, ρ adalah kerapatan udara, D adalah diameter benda, dan η adalah koefisien viskositas. Dari persamaan (2.4) juga dapat terlihat bahwa salah satu parameter yang mempengaruhi besarnya bilangan Reynold adalah kecepatan. Oleh karena itu, pada gambar 2.3 akan diberikan *trend* hubungan antara kecepatan dan bilangan Reynold yang dihasilkan sehingga dari gambar tersebut dapat diketahui *trend* yang dihasilkan apabila diberikan kecepatan yang berbeda terhadap bilangan Reynold yang dihasilkan.



Gambar 2.3 Grafik *trend* hubungan antara kecepatan dan bilangan Reynold

Berdasarkan besarnya bilangan Reynold (R_e), kondisi aliran udara dapat digolongkan menjadi 3 yaitu:

- a. $R_e \leq 2000$, disebut aliran laminar;
- b. $R_e > 3000$, disebut aliran turbulen;
- c. $2000 < R_e \leq 3000$, disebut aliran transisi.

Seperti yang telah dijelaskan pada subbab 1.3 bahwa dalam skripsi ini diasumsikan aliran udaranya bersifat *laminar*. Oleh karena itu, dalam skripsi ini dibatasi bilangan Reynold (R_e) < 2000 . Hal ini dilakukan agar asumsi tersebut dapat terpenuhi.

2.3 Hukum Newton

Issac Newton adalah orang pertama yang berhasil memberikan penjelasan secara mendasar tentang hukum-hukum gerak melalui ketiga hukumnya yang terkenal. Hukum Newton menyatakan hubungan antara gaya, massa, dan gerak benda. Hukum ini berdasarkan pada prinsip Galileo yaitu untuk mengubah kecepatan diperlukan suatu gaya luar, tetapi untuk mempertahankan kecepatan tidak memerlukan gaya luar (Sarojo, 2002). Pada tahun 1564 sampai dengan 1642, Galileo menelaah tentang gerak yang dipercepat dengan meletakkan banyak dasar untuk ketiga hukum Newton. Ketiga hukum Newton tersebut dijelaskan secara terperinci pada subsubbab 2.3.1, 2.3.2, dan 2.3.3 berikut.

2.3.1 Hukum I Newton

Benda yang bergerak cenderung untuk tetap bergerak, dan benda diam cenderung untuk tetap diam. Prinsip ini berkaitan dengan konsep *inersia*, yakni kecenderungan sebuah benda untuk mempertahankan keadaan geraknya. Perubahan gerak hanya mungkin terjadi jika ada gaya luar yang ikut ambil bagian. Gaya luar dalam jumlah tertentu diperlukan untuk menggerakkan sebuah benda dari keadaan diam sampai bergerak dengan kecepatan tertentu. Hal ini juga berlaku untuk mempercepat atau memperlambat gerak benda. Misalnya, sebuah peluru yang ditembakkan dari sebuah senapan akan terus bergerak menempuh lintasan lurus dengan kecepatan tertentu jika tidak ada gaya gravitasi dan hambatan akibat gesekan dengan udara di atmosfer. Kedua gaya itu bekerja bersamaan pada peluru untuk membuatnya berhenti. Ini merupakan dasar dari hukum Newton I yang berbunyi: bila gaya resultan pada suatu benda adalah nol, maka percepatan benda tersebut adalah nol. Secara matematis, persamaannya yaitu:

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{0}, \quad (2.5)$$

dengan $\sum \mathbf{F}$ adalah resultan gaya pada benda.

2.3.2 Hukum II Newton

Hukum II Newton membahas tentang keadaan benda jika resultan gaya yang bekerja tidak sama dengan nol. Menurut Sears et al. (1993), hukum II Newton berbunyi, "bila gaya resultan tidak bernilai nol, maka benda bergerak dengan percepatan, dan untuk gaya tertentu, besarnya percepatan tergantung pada massa benda". Semakin besar massa benda, maka semakin besar pula percepatannya. Secara matematis hukum tersebut dapat dirumuskan pada persamaan (2.6).

$$\sum \mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}, \quad (2.6)$$

Pada persamaan (2.6) m adalah massa benda dalam satuan kg dan \mathbf{a} adalah percepatan benda dalam satuan m/s^2 .

2.3.3 Hukum III Newton

Menurut Sutrisno (1997), suatu gaya yang bekerja pada sebuah benda selalu berasal dari benda lain. Jadi suatu gaya sebenarnya berasal dari hasil dua benda yang saling berinteraksi. Artinya, jika suatu benda satu memberikan gaya terhadap benda lain, maka benda lain tersebut memberikan gaya balasan yang besarnya sama terhadap benda satu.

$$\sum \mathbf{F}_{aksi} = -\sum \mathbf{F}_{reaksi}, \quad (2.7)$$

Dengan $\sum \mathbf{F}_{aksi}$ adalah gaya yang diberikan satu benda terhadap benda lain dan $-\sum \mathbf{F}_{reaksi}$ adalah gaya yang diterima oleh benda satu (Sears, et al, 1993).

2.4 Gerak Peluru dengan *Spin*

Gerak dapat didefinisikan sebagai perubahan kedudukan yang kontinu. Gerak yang paling sederhana adalah gerak sebuah titik pada garis lurus (Sears, et al, 1993). Adapun macam-macam gerak yaitu gerak dalam satu dimensi adalah jika lintasan berbentuk lurus misalnya gerak lurus beraturan (GLB), dalam dua dimensi adalah jika lintasan berada dalam sebuah bidang datar misalnya gerak parabola, gerak dalam tiga dimensi adalah jika lintasan berada dalam ruang misalnya gerak spiral (Sarojo, 2002).

Gerak peluru dapat didefinisikan sebagai gerak benda yang diberikan kecepatan awal dan lintasannya dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya hambat udara (Sears, et al, 1993). Ada dua macam gerak dalam peristiwa gerak peluru yaitu gerak lurus dan gerak *spin*. Gerak *spin* yaitu gerak melingkar terhadap suatu sumbu putar. Jika benda mengalami *slidespin*, maka gerakannya merupakan gerak tiga dimensi. Selain karena putaran benda, faktor lain yang mempengaruhi perubahan arah gerak benda adalah hembusan angin tetapi dalam skripsi ini hembusan angin diabaikan. Gerak peluru yang dibahas dalam skripsi ini yaitu gerak peluru dengan *topspin* dan gaya hambat udara linier, dan gerak peluru dengan *backspin* dan gaya hambat udara linier. Selain itu, peluru diasumsikan tidak mengalami *slidespin* sehingga gerak yang terjadi merupakan gerak dua dimensi. Jika gaya hambat udara

diabaikan, maka sesuai dengan hukum II Newton persamaan gerak peluru dengan *spin* yaitu:

$$\mathbf{F}_L + \mathbf{F}_b = m \cdot \mathbf{a}, \quad (2.8)$$

jika peluru mengalami *topspin*, maka persamaannya:

$$(C_L \rho D^3 f)(-v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j}) - mg \mathbf{j} = m(a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j}), \quad (2.9)$$

jika peluru mengalami *backspin*, maka persamannya:

$$(C_L \rho D^3 f)(v_x \mathbf{i} - v_y \mathbf{j}) - mg \mathbf{j} = m(a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j}) \quad (2.10)$$

dengan v_x adalah kecepatan peluru terhadap sumbu- x , v_y adalah kecepatan peluru terhadap sumbu- y , a_x adalah percepatan peluru terhadap sumbu- x , dan a_y adalah percepatan peluru terhadap sumbu- y (Dianto, 2011).

Jika hambatan udara tidak diabaikan, maka persamaan (2.9) dan persamaan (2.10) ditambahkan dengan gaya hambat udara. Sehingga persamaan (2.9) menjadi

$$(C_L \rho D^3 f)(-v_x \mathbf{j} + v_y \mathbf{i}) - mg \mathbf{j} - (6\pi\eta r)(v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j}) = m(a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j}) \quad (2.11)$$

dan persamaan (2.10) menjadi

$$(C_L \rho D^3 f)(v_x \mathbf{j} - v_y \mathbf{i}) - mg \mathbf{j} - (6\pi\eta r)(v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j}) = m(a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j}). \quad (2.12)$$

Jika masing-masing komponen vektor \mathbf{i} dan \mathbf{j} disendirikan, maka persamaan (2.11) menjadi

$$\frac{dv_x}{dt} = -\frac{(6\pi\eta r)}{m} v_x + \frac{(C_L \rho D^3 f)}{m} v_y \quad (2.13a)$$

untuk vektor \mathbf{i} , sedangkan untuk vektor \mathbf{j} adalah

$$\frac{dv_y}{dt} = -g - \frac{(6\pi\eta r)}{m} v_y - \frac{(C_L \rho D^3 f)}{m} v_x, \quad (2.13b)$$

dan untuk persamaan (2.12) menjadi

$$\frac{dv_x}{dt} = -\frac{(6\pi\eta r)}{m} v_x - \frac{(C_L \rho D^3 f)}{m} v_y, \quad (2.14a)$$

untuk vektor \mathbf{i} , sedangkan untuk vektor \mathbf{j} adalah

$$\frac{dv_y}{dt} = -g - \frac{(6\pi\eta r)}{m} v_y + \frac{(C_L \rho D^3 f)}{m} v_x, \quad (2.14b)$$

2.5 Persamaan Diferensial

Persamaan diferensial adalah suatu persamaan yang merupakan hubungan antara peubah bebas, peubah tak bebas, dan turunan peubah tak bebas terhadap peubah bebas. Atau dengan perkataan lain persamaan diferensial adalah suatu persamaan yang di dalamnya terdapat turunan-turunan (Hidayat, 1997). Jika variabel terkait suatu persamaan diferensial tergantung pada satu variabel bebas, maka persamaan tersebut dinamakan persamaan diferensial biasa (PDB). Jika variabel terkaitnya memuat dua atau lebih variabel bebas, maka persamaan tersebut dinamakan persamaan diferensial parsial (PDP). Orde suatu persamaan diferensial adalah derajat atau pangkat tertinggi dari turunan yang muncul dalam persamaan tersebut. Secara umum orde ke- n suatu persamaan diferensial biasa dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F(y, y', y'', y''', \dots, y^n) = f(t). \quad (2.15)$$

Notasi di atas menyatakan hubungan antara variabel bebas t dan nilai-nilai dari fungsi $y, y', y'', y''', \dots, y^n$. Jika $f(t) = 0$ maka persamaan (2.15) merupakan persamaan biasa homogen. Jika $f(t) \neq 0$ maka persamaan (2.15) merupakan persamaan diferensial biasa nonhomogen. Selain itu, dalam persamaan diferensial terdapat istilah linier atau nonlinier. Suatu persamaan diferensial dikatakan linier jika variabel terikat dan turunan-turunannya dapat dinyatakan sebagai kombinasi linier dengan koefisien yang bebas dari variabel terikat. Jadi secara umum persamaan diferensial biasa linier orde n diberikan dengan

$$a_0(t)y^n + a_1(t)y^{n-1} + \dots + a_n(t)y = f(t). \quad (2.16)$$

Persamaan yang tidak dalam bentuk persamaan (2.16) merupakan persamaan tak linier (Waluyo, 2006).

Secara umum solusi persamaan diferensial biasa dapat dituliskan seperti persamaan berikut:

$$F(t, y, c) = 0, \quad (2.17)$$

dengan c merupakan suatu konstanta (Hidayat, 1997).

2.6 Metode Runge-Kutta

Terdapat dua metode untuk menyelesaikan permasalahan persoalan matematika yang berhubungan dengan persamaan diferensial yaitu metode analitik dan metode numerik. Metode numerik adalah suatu metode untuk menyelesaikan masalah-masalah matematika dengan menggunakan sekumpulan operasi aritmatika sederhana dan operasi logika pada sekumpulan bilangan atau data numerik yang diberikan (Sahid, 2005). Perbedaan antara metode analitik dengan metode numerik adalah pada metode analitik hanya bisa menyelesaikan permasalahan yang sederhana dan menghasilkan solusi yang sebenarnya atau sejati, sedangkan metode numerik dapat menyelesaikan permasalahan yang cukup rumit tetapi solusi yang dihasilkan merupakan solusi hampiran sehingga keakuratannya lebih besar keakuratan metode analitik. Terdapat beberapa metode dalam menyelesaikan persoalan secara numerik, salah satunya adalah metode Rung-Kutta. Kelebihan metode ini adalah tingkat ketelitiannya lebih tinggi dan menghindarkan keperluan mencari turunan fungsi yang lebih tinggi (Triatmodjo,2002).

Bentuk umum metode Runge-Kutta adalah

$$\mathbf{r}(t_i) = \mathbf{r}(t_{i-1}) + \Phi(t_{i-1}, \mathbf{r}(t_{i-1}), \Delta t)\Delta t, \quad (2.18)$$

dimana $\Phi(t_{i-1}, \mathbf{r}(t_{i-1}), \Delta t)$ adalah fungsi pertambahan yang merupakan kemiringan rerata pada interval. Fungsi pertambahan dapat dapat ditulis dalam bentuk umum

$$\Phi = a_1 \mathbf{k}_1 + a_2 \mathbf{k}_2 + a_3 \mathbf{k}_3 \dots + a_n \mathbf{k}_n, \quad (2.19)$$

dengan a adalah konstanta dan k adalah

$$\mathbf{k}_1 = f(t_{i-1}, \mathbf{r}(t_{i-1})), \quad (2.20a)$$

$$\mathbf{k}_2 = f(t_{i-1} + p_1 \Delta t, \mathbf{r}(t_{i-1}) + q_{11} \mathbf{k}_1 \Delta t), \quad (2.20b)$$

$$\mathbf{k}_3 = f(t_{i-1} + p_2 \Delta t, \mathbf{r}(t_{i-1}) + q_{21} \mathbf{k}_1 \Delta t + q_{22} \mathbf{k}_2 \Delta t), \quad (2.20c)$$

⋮
⋮

$$\begin{aligned} \mathbf{k}_n = f(t_{i-1} + p_{n-1} \Delta t, \mathbf{r}(t_{i-1}) + q_{n-1,1} \mathbf{k}_1 \Delta t + q_{n-1,2} \mathbf{k}_2 \Delta t + \dots \\ + q_{n-1,n-1} \mathbf{k}_{n-1} \Delta t). \end{aligned} \quad (2.20d)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa nilai \mathbf{k} mempunyai hubungan berurutan. Nilai \mathbf{k}_1 muncul dalam persamaan \mathbf{k}_2 , yang keduanya juga muncul dalam persamaan \mathbf{k}_3 , dan seterusnya. Hubungan yang berurutan ini membuat metode Runge-Kutta efisien untuk hitungan komputer.

Ada beberapa tipe metode Runge-Kutta diantaranya metode RK orde dua, metode RK orde tiga, dan metode RK orde empat.

a. Metode RK orde dua

Formula metode RK orde dua sebagai berikut

$$\mathbf{r}(t_i) = \mathbf{r}(t_{i-1}) + \frac{1}{2}(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2)\Delta t, \quad (2.21)$$

dengan

$$\mathbf{k}_1 = f(t_{i-1}, \mathbf{r}(t_{i-1})), \quad (2.22a)$$

$$\mathbf{k}_2 = f(t_{i-1} + \Delta t, \mathbf{r}(t_{i-1}) + \mathbf{k}_1\Delta t). \quad (2.22b)$$

b. Metode RK orde tiga

Formula metode RK orde tiga sebagai berikut

$$\mathbf{r}(t_i) = \mathbf{r}(t_{i-1}) + \frac{1}{6}(\mathbf{k}_1 + 4\mathbf{k}_2 + \mathbf{k}_3)\Delta t, \quad (2.23)$$

dengan

$$\mathbf{k}_1 = f(t_{i-1}, \mathbf{r}(t_{i-1})), \quad (2.24a)$$

$$\mathbf{k}_2 = f\left(t_{i-1} + \frac{1}{2}\Delta t, \mathbf{r}(t_{i-1}) + \frac{1}{2}\mathbf{k}_1\Delta t\right), \quad (2.24b)$$

$$\mathbf{k}_3 = f(t_{i-1} + \Delta t, \mathbf{r}(t_{i-1}) - \mathbf{k}_1\Delta t + 2\mathbf{k}_2\Delta t). \quad (2.24c)$$

c. Metode RK orde empat

Metode RK orde empat merupakan metode yang paling teliti dibandingkan dengan metode RK sebelumnya. oleh karena itu, metode RK orde empat sering digunakan untuk menyelesaikan suatu persamaan differensial. Formula metode RK orde empat sebagai berikut:

$$\mathbf{r}(t_i) = \mathbf{r}(t_{i-1}) + \frac{1}{6}(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 + \mathbf{k}_3 + \mathbf{k}_4)\Delta t, \quad (2.25)$$

dengan

$$\mathbf{k}_1 = f(t_{i-1}, \mathbf{r}(t_{i-1})), \quad (2.26a)$$

$$\mathbf{k}_2 = f\left(t_{i-1} + \frac{1}{2}\Delta t, \mathbf{r}(t_{i-1}) + \frac{1}{2}\mathbf{k}_1\Delta t\right), \quad (2.26b)$$

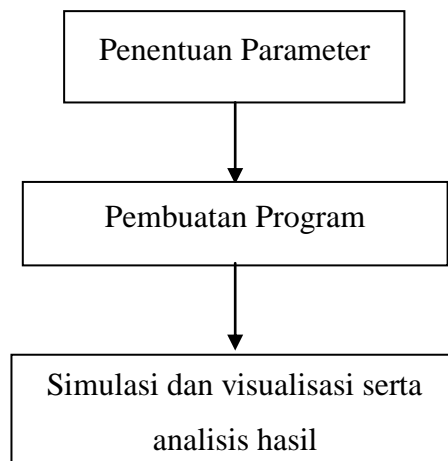
$$\mathbf{k}_3 = f\left(t_{i-1} + \frac{1}{2}\Delta t, \mathbf{r}(t_{i-1}) + \frac{1}{2}\mathbf{k}_2\Delta t\right), \quad (2.26c)$$

$$\mathbf{k}_4 = f(t_{i-1} + \Delta t, \mathbf{r}(t_{i-1}) + \mathbf{k}_3\Delta t) \quad (2.26d)$$

(Triatmodjo, 2002).

BAB 3. METODE PENELITIAN

Dalam menyelesaikan skripsi ini, dibutuhkan langkah-langkah kerja untuk memperoleh hasil yang diinginkan yaitu mendapatkan profil gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier. Hal ini dilakukan karena langkah demi langkah dalam skripsi ini saling terkait dan harus dilakukan secara berurutan. Artinya setiap langkah kerja sebelumnya akan dibutuhkan dalam mengerjakan langkah kerja berikutnya. Langkah-langkah kerja tersebut dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3.1 Skema metode penelitian

Dari skema pada Gambar 3.1 di atas, langkah-langkah penelitian dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Penentuan Parameter

Langkah awal dalam simulasi gerak peluru dengan *spin* dan hambatan udara linier dalam skripsi ini adalah menentukan nilai parameter yang akan digunakan dalam simulasi. Parameter-parameter tersebut yaitu posisi awal, sudut tembakan, kecepatan awal, massa bola, kerapatan udara, viskositas udara, percepatan gravitasi, koefisien *lift*, dan frekuensi *spin*. Parameter-parameter tersebut diambil dari beberapa

literatur yang berkaitan dengan gerak peluru, misalnya jari-jari dan massa bola diambil dari jari-jari dan massa bola tenis meja. Sedangkan, nilai kerapatan udara, viskositas udara, percepatan gravitasi diambil dari literatur mekanika.

2. Pembuatan program

Pembuatan program dalam skripsi ini akan menggunakan *software* MATLAB R2009a. Dalam pembuatan program dibutuhkan suatu algoritma baik berbentuk suatu narasi maupun berbentuk *flowchart*. Pada bagian ini akan diberikan *flowchart* program simulasi gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier seperti pada Gambar 3.2. Dari Gambar 3.2, dapat diuraikan langkah-langkah pembuatan program simulasi sebagai berikut:

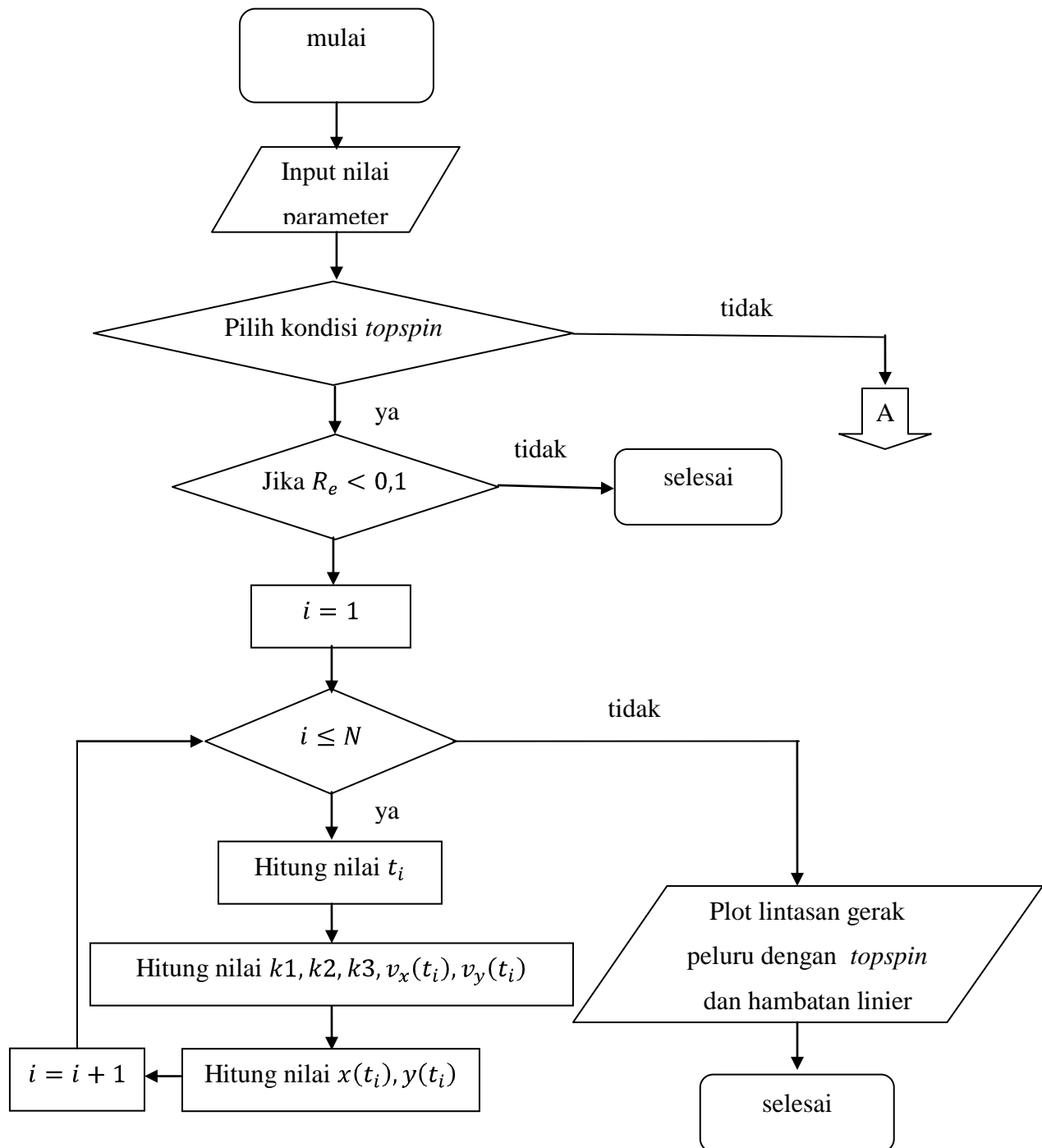
- a. Masukkan nilai-nilai parameter yang telah disebutkan dalam subsubbab 4.1.1 sebagai input;
- b. hitung nilai bilangan Reynold menggunakan persamaan (2.7);
 1. Jika $R_e \geq 2000$, maka program error, selesai;
 2. Jika tidak, maka program berlanjut.;
- c. Hitung konstanta hambatan linier (kL) dengan rumus $kL = \frac{6\pi\eta r}{m}$;
- d. Hitung konstanta Magnus (kM) dengan rumus $kM = \frac{C_L \rho D^3 f}{m}$;
- e. Pilih kondisi gerak peluru dengan *topspin* dan hambatan udara linier;
 1. Definisikan selang waktu $\Delta t = 0,0001$, dengan iterasi sebanyak $N = 1000000$;
 2. Hitung kecepatan awal ($v_x(t_0) = v(t_0) \cos \alpha$, $v_y(t_0) = v(t_0) \sin \alpha$);
 3. Definisikan iterasi ke- i dimana i berjalan dari 1 sampai ke- N ;
 4. Hitung nilai waktu ke- i dengan rumus $t(i) = t_0 + i \cdot \Delta t$;
 5. Hitung $k1x, k2x, k3x, k4x, k1y, k2y, k3y, k4y$ dan $v_x t(i), v_y t(i)$ dengan rumus pada persamaan (2.16) dan persamaan (2.15);
 6. Hitung $x(i)$ dan $y(i)$ dengan rumus $x(i) = x(i - 1) + v_x t(i) \cdot \Delta t$ dan $y(i) = y(i - 1) + v_y t(i) \cdot \Delta t$;

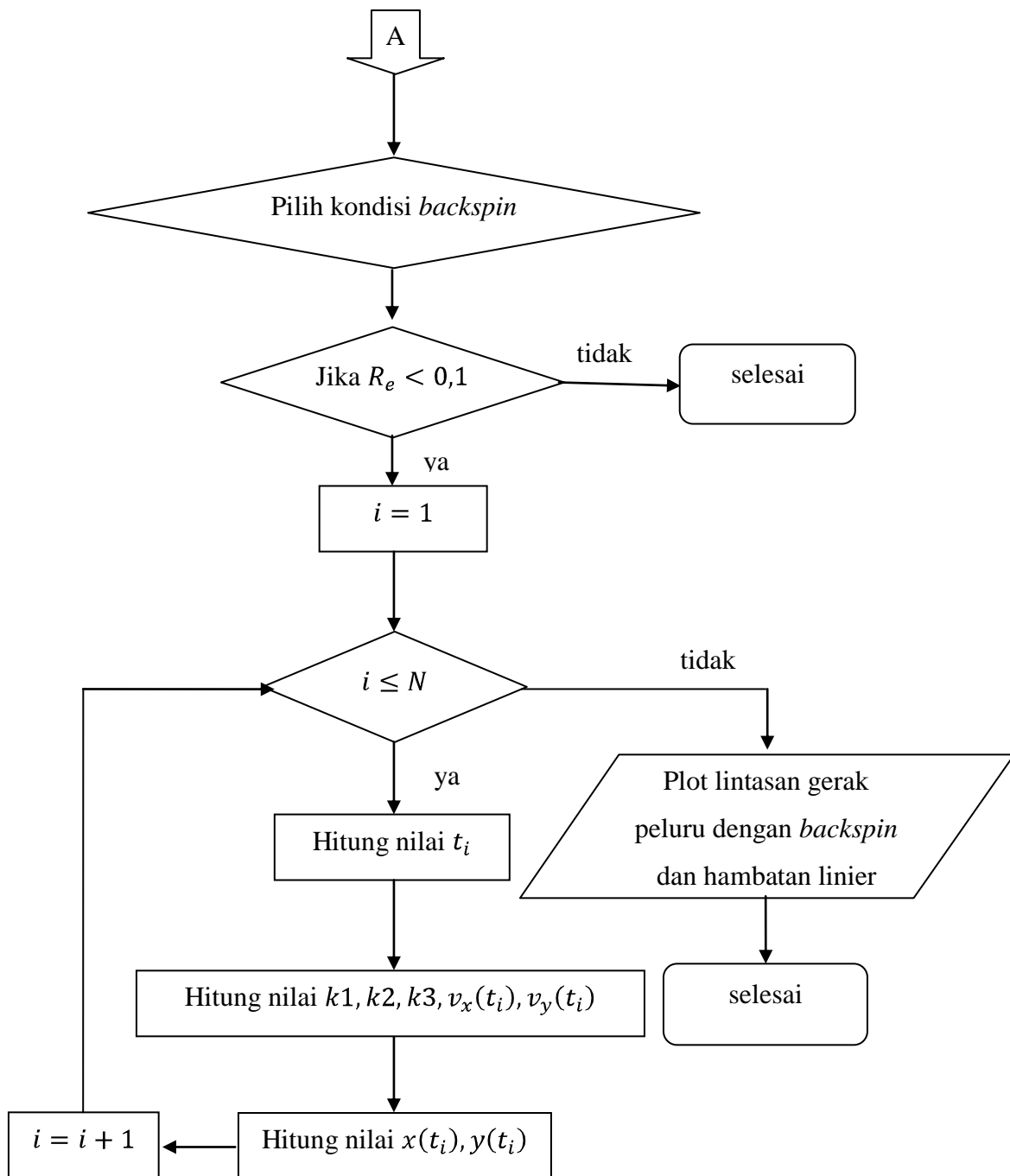
7. Jika $y(i) < 0$, maka $y(i) = 0$, hal ini bertujuan agar nilai y selalu bernilai tak negatif;
 8. Hitung jarak dan ketinggian maksimum untuk gerak peluru dengan *topspin* dan hambatan udara linier;
 9. Plot lintasan gerak peluru dengan *topspin* dan hambatan linier;
 10. Selesai;
- f. Pilih kondisi gerak peluru dengan *backspin* dan hambatan udara linier. Adapun langkah-langkahnya sama dengan langkah-langkah pada gerak peluru dengan *topspin* dan hambatan udara linier.

Sedangkan untuk algoritma dengan variasi lima sudut yang diplot secara bersamaan, langkah-langkahnya hampir sama dengan algoritma pembuatan program lainnya. Namun, dalam setiap proses penyelesaian diulang sebanyak lima kali dengan sudut yang berbeda.

3. Simulasi dan visualisasi serta analisis hasil

Simulasi dan visualisasi dilakukan dengan cara memvariasi parameter-parameter yang mempengaruhi gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier. Parameter-parameter yang akan divariasikan dalam simulasi dan visualisasi ada enam yaitu frekuensi *spin*, jari-jari bola, massa bola, kecepatan awal, posisi awal, dan sudut tembakan. Sedangkan viskositas, kerapatan udara, koefisien *lift*, dan percepatan gravitasi dianggap konstan. Setelah simulasi dan visualisasi selesai, langkah selanjutnya menganalisis hasil simulasi dan visualisasi gambar. Analisis hasil dilakukan dengan cara melihat bentuk lintasan, jarak maksimum, dan ketinggian maksimum yang diperoleh. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh nilai parameter-parameter yang diberikan terhadap profil gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier.





Gambar 3.2 Flowchart program gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Sesuai dengan langkah-langkah yang telah dijelaskan dalam metode penelitian, pada bagian ini akan dibahas secara terperinci mengenai penentuan parameter, pembuatan program, simulasi dan visualisasi, serta analisis hasil profil gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier, dengan beberapa asumsi yaitu benda berbentuk bola, benda tidak mengalami *slidespin*, kerapatan dan viskositas udara konstan, serta hembusan angin diabaikan.

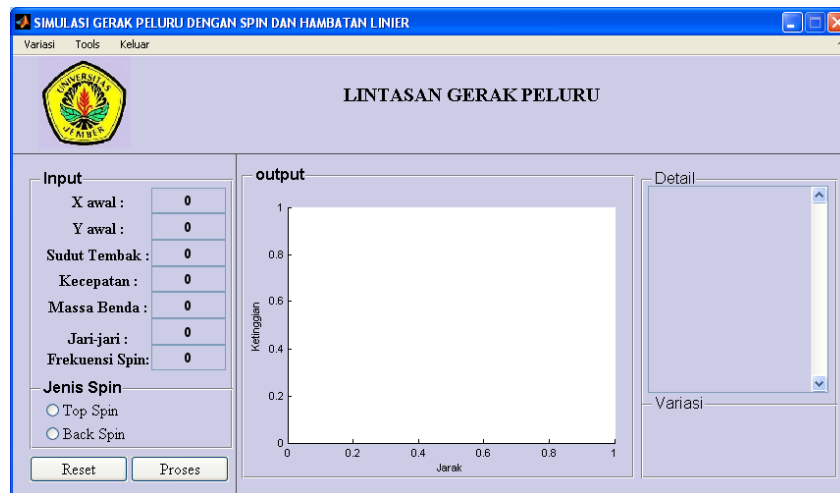
4.1.1 Penentuan Parameter

Sebelum program dibuat, terlebih dahulu menentukan parameter-parameter yang mempengaruhi gerak peluru. Parameter-parameter tersebut yaitu posisi awal, sudut tembakan, kecepatan awal, massa bola, jari-jari bola, viskositas udara, kerapatan udara, percepatan gravitasi bumi, koefisien *lift*, dan frekuensi putaran bola. Seperti yang telah diketahui bahwa besarnya viskositas udara dan kerapatan udara di beberapa tempat dan kondisi tidak sama. Dalam skripsi ini, viskositas dan kerapatan udara dianggap konstan. Hal ini dilakukan untuk menghindari persoalan yang lebih kompleks dan agar lebih mudah dalam menganalisis pengaruh parameter-parameter yang akan divariasikan. Viskositas udara yang digunakan sebesar $0,018 \text{ kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$ dan kerapatan udaranya sebesar $1,293 \text{ kg m}^{-3}$, serta koefisien *lift* sebesar 1,23. Sedangkan percepatan gravitasi bumi yang digunakan sebesar $9,8 \text{ m/s}^{-2}$.

4.1.2 Pembuatan Program

Pembuatan program dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Matlab R2009a. Pertama, membuat program untuk persamaan metode Runge-Kutta.

Setelah program Runge-Kutta dapat dijalankan, langkah selanjutnya membuat GUI yang merupakan tampilan grafis untuk menampilkan hasil simulasi gerak peluru agar lebih mudah dalam pembacaan data. Adapun tampilan grafis simulasi program gerak peluru dapat dilihat pada Gambar 4.1. Sedangkan, pembuatan program secara lengkap dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.1 Tampilan grafis hasil simulasi program gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier

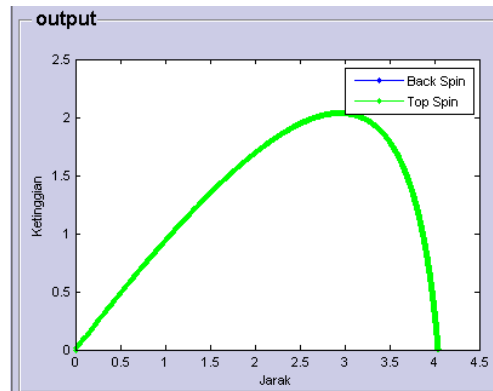
Pada Gambar 4.1, kolom input terdiri dari input parameter-parameter yang mempengaruhi gerak peluru yaitu posisi awal terhadap sumbu x dalam satuan meter (m), posisi awal terhadap sumbu y juga dalam satuan meter, sudut tembakan, kecepatan awal dalam satuan m/s, massa bola dalam satuan kg, jari-jari bola dalam satuan meter, dan frekuensi *spin* dalam satuan putaran/sekon. Kolom variasi berupa parameter yang besar nilainya akan divariasikan dalam simulasi tersebut. Kolom jenis *spin* menunjukkan jenis *spin* yang akan dipilih salah satu yaitu *topspin* atau *backspin*. Kolom output berisi lintasan hasil simulasi gerak peluru dengan *spin* yang telah dipilih. Kolom detail berisi data hasil simulasi berupa besar nilai bilangan Reynold, konstanta hambatan linier, konstanta magnus, jarak maksimum dan ketinggian maksimum.

4.1.3 Simulasi dan Visualisasi serta Analisis Hasil

Sebelum membahas simulasi program, terlebih dahulu ditetapkan $y = 0$ m sebagai permukaan tanah dan $y, x \geq 0$, x menyatakan jarak, dan y menyatakan ketinggian. Ketinggian maksimum dan jarak maksimum akan dihitung dari selisih antara posisi awal dan nilai maksimum yang dihasilkan oleh lintasan pada grafik. Dalam simulasi ini akan diberikan variasi dari beberapa nilai parameter yaitu posisi awal, sudut tembakan, kecepatan awal, massa bola, jari-jari bola, dan frekuensi *spin*. Variasi dilakukan secara bergantian, misalnya jika frekuensi *spin* divariasikan maka posisi awal, kecepatan awal, sudut tembakan, massa bola, dan jari-jari bola dianggap tetap, demikian seterusnya.

Pada simulasi ini ada enam parameter yang akan divariasikan yaitu frekuensi *spin*, sudut tembakan, kecepatan awal, posisi awal, jari-jari bola, dan massa bola. Variasi parameter yang diberikan adalah sebagai berikut: (i) Frekuensi *spin* sebesar 0 put/s, 5 put/s, dan 10 put/s; (ii) Jari-jari bola sebesar 2×10^{-2} m dan 3×10^{-2} m; (iii) Kecepatan awal sebesar 15 m/s dan 10 m/s; (iv) Massa bola sebesar 27×10^{-4} kg dan 35×10^{-4} kg; (v) Posisi awal sebesar $x(t_0) = 0$ m, $y(t_0) = 0$ m dan $x(t_0) = 0$ m; $y(t_0) = 3$ m, (vi) Sudut tembakan sebesar 15° , 30° , 45° , 60° , dan 75° dengan posisi awal $x(t_0) = 0$ m, $y(t_0) = 0$ m dan $x(t_0) = 0$ m, $y(t_0) = 1$ m.

Dalam skripsi ini, simulasi gerak peluru dibagi menjadi dua yaitu simulasi gerak peluru dengan *topspin* dan hambatan linier dan simulasi gerak peluru dengan *backspin* dan hambatan linier. Sebelum memberikan variasi terhadap nilai parameter, terlebih dahulu akan diberikan hasil simulasi serta visualisasi gerak peluru dengan diberikan posisi awal sebesar $x(t_0) = 0$, $y(t_0) = 0$, sudut tembakan sebesar 45° , kecepatan awal sebesar 15 m/s, massa benda sebesar 27×10^{-4} kg, dan jari-jari benda sebesar 2×10^{-2} m, serta frekuensi *spin*nya adalah nol. Hasil simulasi dan visualisasi dapat dilihat pada Gambar 4.2.

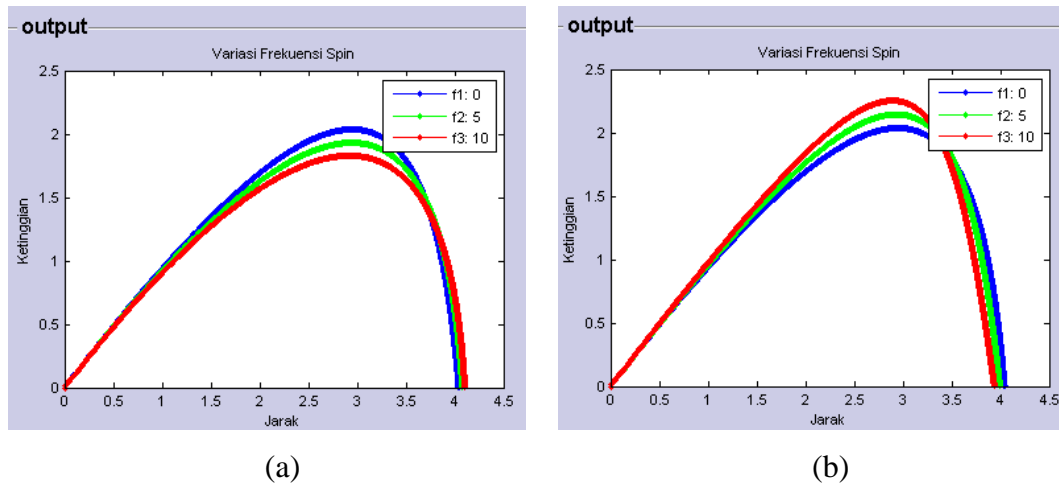


Gambar 4.2 Lintasan gerak peluru dengan *spin* (*topspin*; *backspin*) dan hambatan linier dengan frekuensi *spin* nol

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa jika diberikan nilai frekuensi *spin* sama dengan nol, maka hasil simulasi antara gerak peluru dengan *topspin* dan *backspin* adalah sama persis. Lintasan berwarna hijau adalah lintasan hasil simulasi gerak peluru dengan *topspin* dan lintasan berwarna biru adalah lintasan hasil simulasi gerak peluru dengan *backspin*. Lintasan berwarna biru tidak terlihat karena berimpit dengan lintasan berwarna hijau, sehingga yang terlihat hanya lintasan yang berwarna biru. Bentuk lintasan peluru dengan frekuensi *spin* sama dengan nol mendekati parabola dengan titik puncak lintasan sedikit bergeser ke kanan. Jarak maksimum sebesar 4,0413 m dan ketinggian maksimum sebesar 2,0368 m. Sedangkan, bilangan Reynold, konstanta linier, dan konstanta Magnus diperoleh sebesar 43,1, 2,5133, dan 0. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa pada persamaan gerak peluru dengan *topspin* dan hambatan linier dan persamaan gerak peluru dengan *backspin* dan hambatan linier jika diberikan frekuensi *spin* sama dengan nol, maka akan diperoleh hasil yang sama persis.

Setelah simulasi dan visualisasi dengan diberikan frekuensi *spin* sama dengan nol selesai, simulasi dan visualisasi selanjutnya dilakukan dengan cara memvariasi parameter-parameter yang mempengaruhi gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier. Parameter yang divariasikan pertama kali adalah frekuensi *spin* yaitu sebesar 0 put/s, 25 put/s, dan 50 put/s. Hasil simulasi dan visualisasi gerak peluru dengan

topspin dapat dilihat pada Gambar 4.3 bagian (a), sedangkan hasil simulasi gerak peluru dengan *backspin* dapat dilihat pada Gambar 4.3 bagian (b).



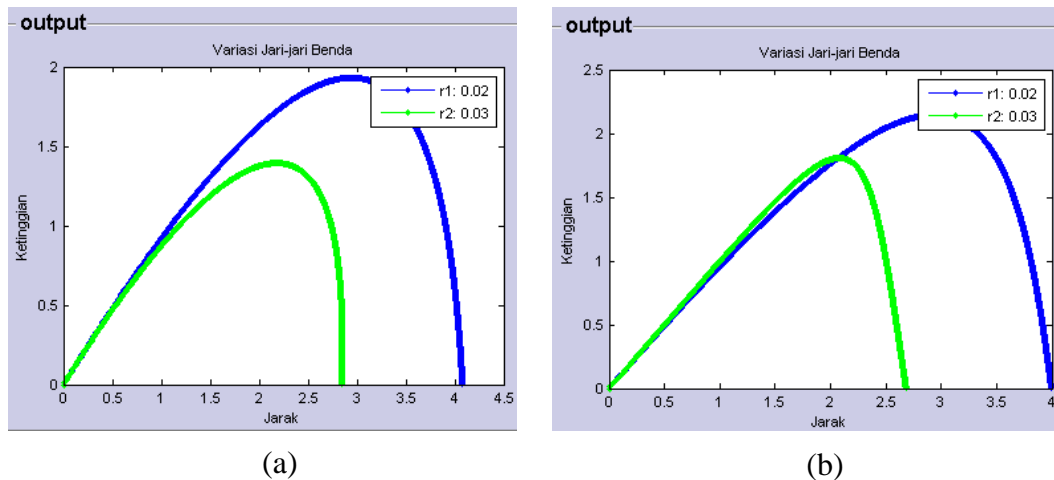
(a) *Topspin*; (b) *backspin*

Gambar 4.3 Lintasan gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier dengan frekuensi *spin* 0 put/s, 5 put/s, dan 10 put/s.

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat diamati bahwa dengan memberikan variasi *spin* menghasilkan lintasan yang berbeda dari peluru yang frekuensi *spin*nya sama dengan nol. Pada gambar tersebut, lintasan berwarna biru adalah hasil simulasi dengan diberikan frekuensi *spin* nol, lintasan berwarna hijau adalah hasil simulasi dengan diberikan frekuensi *spin* 5 put/s, dan lintasan berwarna merah adalah hasil simulasi dengan diberikan frekuensi *spin* 10 put/s. Jika diberikan frekuensi *spin* sebesar 0 put/s, 5 put/s, dan 10 put/s, maka pada gerak peluru dengan *topspin* didapatkan jarak maksimum secara berurutan sebesar 4,0413 m, 4,078 m, 4,1024 m dan ketinggian maksimum berturut-turut sebesar 2,0368 m, 1,9311 m, dan 1,8292 m. Sedangkan, pada gerak peluru dengan *backspin* didapatkan jarak maksimum secara berurutan sebesar 4,0413 m, 3,9937 m, dan 3,9361 m dan ketinggian maksimum berturut-turut sebesar 2,0368 m, 2,1448 m, dan 2,2534 m. Bilangan Reynold dan konstanta linier yang dihasilkan adalah tetap sama yaitu sebesar 43,1 dan 2,5133. Konstanta Magnus yang dihasilkan berturut-turut sebesar 0, 0,18849, dan

0,37689. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan diberikan frekuensi *spin* yang lebih besar, maka pada gerak peluru dengan *topspin* dan hambatan linier akan dihasilkan nilai ketinggian maksimum yang lebih kecil. Sedangkan, pada gerak peluru dengan *backspin* dan hambatan linier akan dihasilkan nilai ketinggian maksimum yang lebih besar.

Setelah simulasi dan visualisasi dengan variasi frekuensi *spin* selesai, simulasi dan visualisasi selanjutnya dilakukan dengan cara memvariasi jari-jari bola yaitu 2×10^{-2} m dan 3×10^{-2} m dengan menggunakan frekuensi *spin* sebesar 5. Frekuensi *spin* sebesar 5 put/s ini selanjutnya akan digunakan sebagai tetapan nilai frekuensi *spin* pada variasi parameter-parameter berikutnya. Lintasan hasil simulasi dengan variasi jari-jari bola dapat dilihat pada Gambar 4.4.



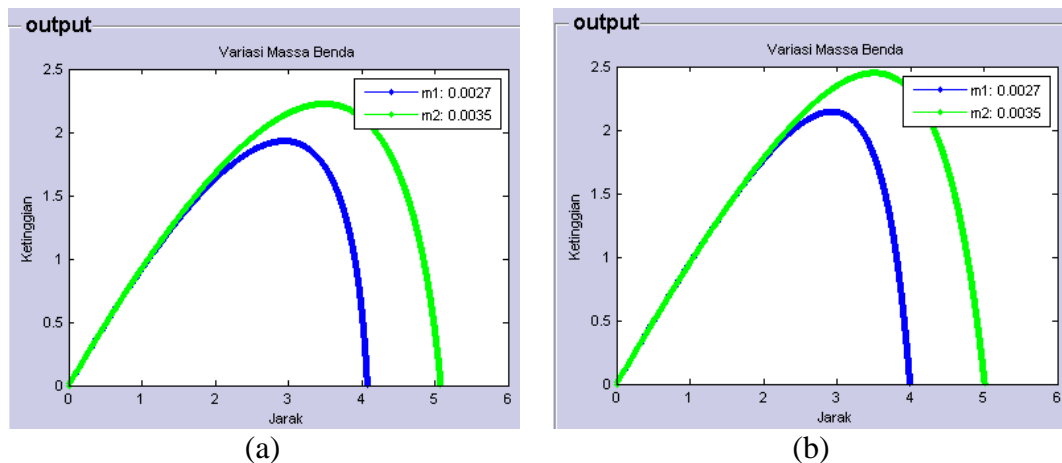
(a) *Topspin*; (b) *backspin*

Gambar 4.4 Lintasan gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier dengan jari-jari 2×10^{-2} m dan 3×10^{-2} m.

Pada Gambar 4.4, lintasan berwarna biru merupakan hasil simulasi gerak peluru dengan diberikan jari-jari 2×10^{-2} m dan lintasan berwarna hijau merupakan lintasan gerak peluru dengan diberikan jari-jari 3×10^{-2} m. Pada saat diberikan jari-jari 2×10^{-2} m, pada gerak peluru dengan *topspin* dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum sebesar 4,078 m dan 1,9311 m dan pada gerak peluru dengan

backspin sebesar 3,9937 m dan 2,1448 m. Bilangan Reynold, konstanta linier, dan konstanta Magnus yang dihasilkan sebesar 43,1, 2,5133, dan 0,18849. Hal ini berbeda dengan hasil yang diperoleh pada saat diberikan jari-jari 3×10^{-2} m, dimana pada gerak peluru dengan *topspin* dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum sebesar 2,844 m dan 1,3944 m, pada gerak peluru dengan *backspin* sebesar 2,6811 m dan 1,8073 m. Di samping itu, bilangan Reynold, konstanta linier, dan konstanta Magnus yang dihasilkan sebesar 64,65, 3,7699 dan 0,63616. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar jari-jari yang diberikan, maka akan dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum yang semakin kecil.

Setelah variasi jari-jari peluru selesai, simulasi dan visualisasi selanjutnya akan dilakukan dengan cara memvariasi massa peluru, yaitu sebesar 27×10^{-4} kg dan 35×10^{-4} kg. Lintasan yang dihasilkan dari gerak peluru dengan *topspin* dapat dilihat pada Gambar 4.5 (a) dan lintasan yang dihasilkan dari gerak peluru dengan *backspin* dapat dilihat pada Gambar 4.5 (b).



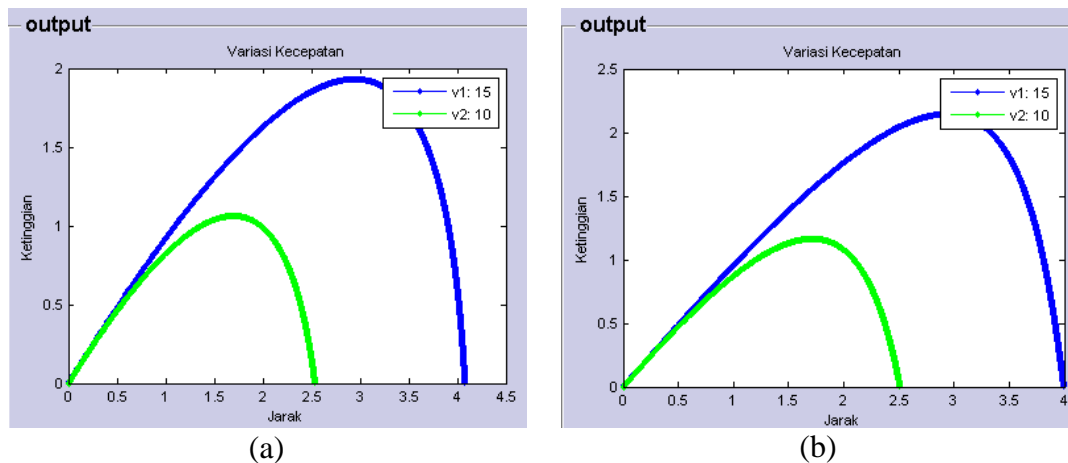
(a) *Topspin*; (b) *backspin*

Gambar 4.5 Lintasan gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier menggunakan massa 27×10^{-4} kg dan 35×10^{-4} kg.

Pada Gambar 4.5, lintasan berwarna biru merupakan hasil simulasi gerak peluru dengan diberikan massa bola 27×10^{-4} kg, sedangkan lintasan berwarna

hijau merupakan lintasan gerak peluru dengan diberikan massa bola 35×10^{-4} kg. Pada saat diberikan massa sebesar 27×10^{-4} kg, pada Gambar 4.5 bagian (a) dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum sebesar 4,078 m dan 1,9311 m sedangkan pada Gambar 4.5 bagian (b) dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum sebesar 3,9937 m dan 2,1448 m. Sedangkan, bilangan Reynold, konstanta linier, dan konstanta Magnus yang dihasilkan berturut-turut sebesar 43,1, 2,5133, dan 0,18849. Hal ini berbeda dengan hasil yang diperoleh pada saat diberikan massa 35×10^{-4} kg, dimana pada Gambar 4.5 bagian (a) dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum sebesar 5,0811 m dan 2,2243 m sedangkan pada Gambar 4.5 bagian (b) dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum sebesar 5,0101 m dan 2,4494 m. Sedangkan, Bilangan Reynold, konstanta linier, dan konstanta Magnus yang dihasilkan sebesar 43,1, 1,9388 dan 0,14541. berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa dengan diberikan massa peluru yang lebih besar, maka akan dihasilkan jarak dan ketinggian maksimum yang lebih besar.

Simulasi dan visualisasi berikutnya dilakukan dengan cara memvariasi kecepatan awal bola yaitu 15 m/s dan 10 m/s. Lintasan yang dihasilkan dari simulasi gerak peluru dengan variasi kecepatan awal dapat dilihat pada Gambar 4.6

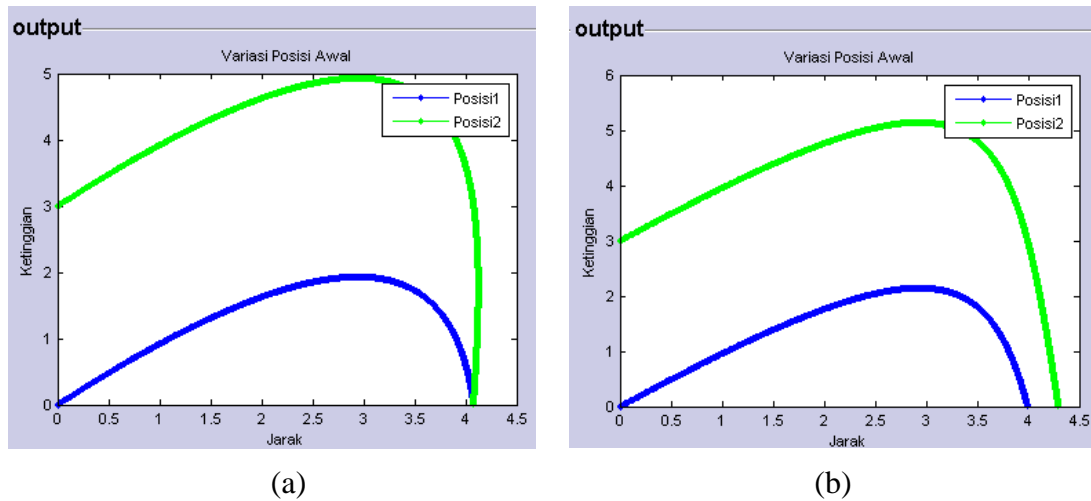


(a) *Topspin*; (b) *backspin*

Gambar 4.6 Lintasan gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier menggunakan kecepatan 15 m/s dan 10 m/s.

Pada hasil simulasi dan visualisasi gerak peluru dengan variasi kecepatan, lintasan berwarna biru merupakan hasil simulasi gerak peluru dengan diberikan kecepatan awal 15 m/s dan lintasan berwarna hijau merupakan hasil simulasi gerak peluru dengan diberikan kecepatan awal 10 m/s. Pada saat diberikan kecepatan awal sebesar 15 m/s, pada gerak peluru dengan *topspin* dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum sebesar 4,078 m dan 1,9311 m sedangkan pada gerak peluru dengan *backspin* dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum sebesar 3,9937 m dan 2,1448 m. sedangkan, bilangan Reynold, konstanta linier, dan konstanta Magnus yang dihasilkan sebesar 43,1, 2,5133, dan 0,18849. Hal ini berbeda dengan hasil yang diperoleh pada saat diberikan kecepatan awal 10 m/s, dimana pada gerak peluru dengan *topspin* dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum sebesar 2,5355 m dan 1,0625 m, tetapi pada gerak peluru dengan *backspin* dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum sebesar 2,5102 m dan 1,1641 m. Disamping itu, Bilangan Reynold, konstanta linier, dan konstanta Magnus yang dihasilkan sebesar 28,7333, 2,5133 dan 0,18849. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa dengan diberikan kecepatan awal yang lebih kecil, baik pada gerak peluru dengan *topspin* dan hambatan linier maupun pada gerak peluru dengan *backspin* dan hambatan linier, akan dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum yang semakin kecil pula.

Setelah simulasi dan visualisasi dengan variasi kecepatan awal selesai, simulasi dan visualisasi selanjutnya dilakukan dengan cara memvariasi posisi awal tembakan bola. Posisi awal yang akan digunakan adalah $x(t_0) = 0$ m, $y(t_0) = 0$ m dan $x(t_0) = 0$ m, $y(t_0) = 3$ m. Lintasan yang dihasilkan dari gerak peluru dengan *topspin* dan hambatan linier dapat dilihat pada Gambar 4.5 (a) dan lintasan yang dihasilkan dari gerak peluru dengan *backspin* dan hambatan linier dapat dilihat pada Gambar 4.5 (b).

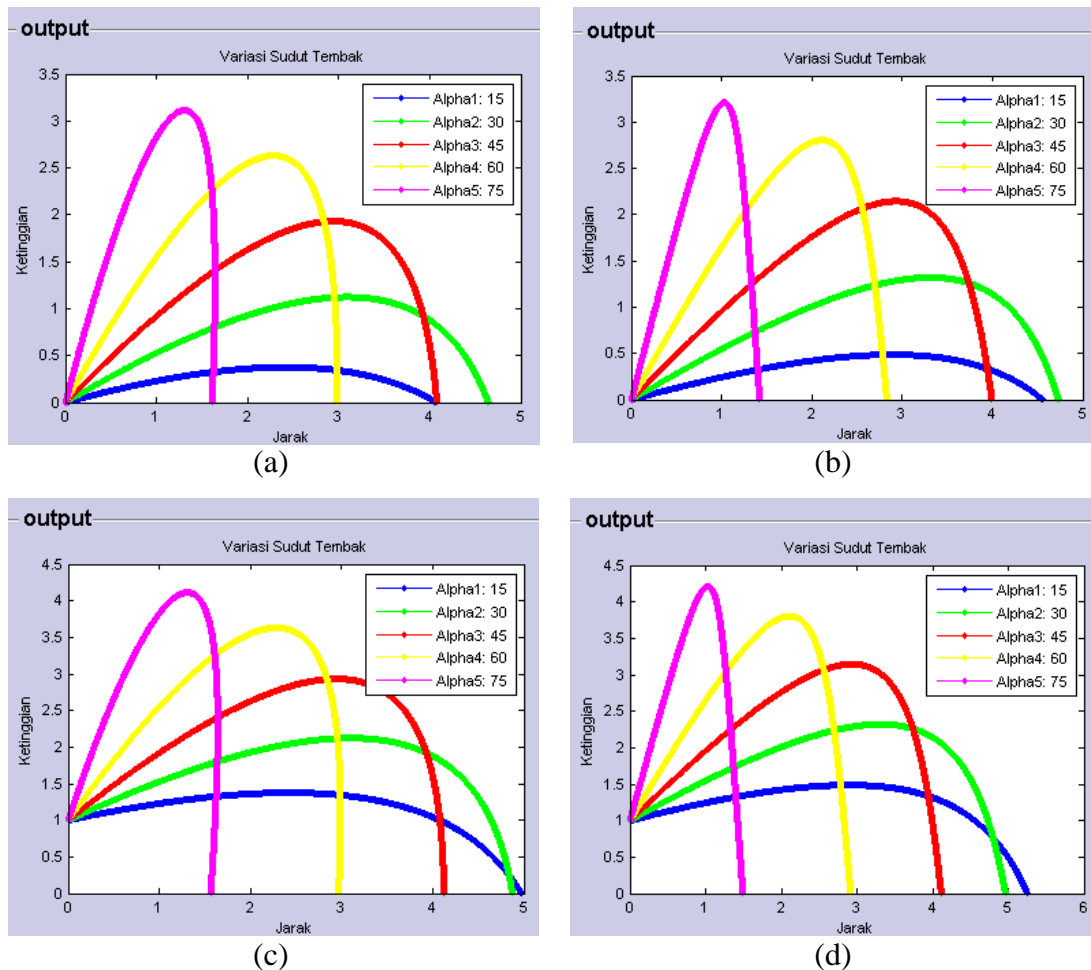
(a) *Topspin*; (b) *backspin*

Gambar 4.7 Lintasan gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier menggunakan posisi awal $x(t_0) = 0$, $y(t_0) = 0$ dan $x(t_0) = 0$, $y(t_0) = 3$.

Pada Gambar 4.7, lintasan berwarna hijau merupakan lintasan hasil simulasi gerak peluru dengan diberikan posisi awal $x(t_0) = 0$, $y(t_0) = 0$ dan lintasan berwarna biru merupakan lintasan hasil simulasi gerak peluru dengan diberikan posisi awal $x(t_0) = 0$, $y(t_0) = 3$. Pada saat diberikan posisi awal $x(t_0) = 0$, $y(t_0) = 0$, pada Gambar 4.7 bagian (a) dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum sebesar 4,078 m dan 1,9311 m, sedangkan pada Gambar 4.7 bagian (b) dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum sebesar 3,9937 m dan 2,1448 m. Hal ini berbeda dengan hasil yang diperoleh pada saat diberikan posisi awal $x(t_0) = 0$, $y(t_0) = 3$, dimana pada Gambar 4.7 bagian (a) dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum sebesar 4,0743 m dan 4,9311 m sedangkan pada Gambar 4.7 bagian (b) dihasilkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum sebesar 4,2954 m dan 5,1448 m. Disamping itu, bilangan Reynold, konstanta linier, dan konstanta Magnus yang dihasilkan sebesar 43,1, 2,5133, dan 0,18849. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa pada gerak peluru dengan *topspin* dan hambatan linier, jika diberikan posisi awal dengan ketinggian tertentu, maka jarak maksimum didapatkan pada saat bola masih berada di udara. Sedangkan, pada gerak peluru dengan *backspin* dan

hambatan linier, jika diberikan posisi awal yang lebih tinggi, maka jarak maksimum didapatkan pada saat bola menyentuh permukaan tanah.

Setelah variasi posisi awal selesai, simulasi dan visualisasi selanjutnya dilakukan dengan cara memvariasi sudut tembakan peluru dengan posisi awal $x(t_0) = 0$, $y(t_0) = 0$. Dalam hal ini ada 5 variasi sudut yaitu 15° , 30° , 45° , 60° , dan 75° . Kemudian simulasi dan visualisasi dilanjutkan dengan mengubah posisi awal dari $x(t_0) = 0$, $y(t_0) = 0$ menjadi $x(t_0) = 0$, $y(t_0) = 1$. Lintasan yang dihasilkan dari gerak peluru dengan variasi sudut tembakan dapat dilihat pada Gambar 4.8



(a) *Topspin*; (b) *Backspin*; (c) *Topspin*; (d) *Backspin*

Gambar 4.8 Lintasan gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier menggunakan sudut tembakan 15° , 30° , 45° , 60° , dan 75°

Pada saat peluru ditembakkan dengan sudut tembakan 15° , 30° , 45° , 60° , dan 75° , pada Gambar 4.8 bagian (a) dihasilkan jarak maksimum berturut-turut sebesar 4,0729 m, 4,6407 m, 4,078 m, 2,9878 m, dan 1,6112 m sedangkan ketinggian maksimum berturut-turut sebesar 0,37599 m, 1,1233 m, 1,9311 m, 2,6306 m, dan 3,1143 m, pada Gambar 4.8 bagian (b) dihasilkan jarak maksimum berturut-turut sebesar 4,5549 m, 4,7306 m, 3,9937 m, 2,8292 m, dan 1,4218 m sedangkan ketinggian maksimum berturut-turut sebesar 0,48709 m, 1,3207 m, 2,1448 m, 2,8046 m, dan 3,2105 m, pada Gambar 4.8 bagian (c) dihasilkan jarak maksimum berturut-turut sebesar 4,9725 m, 4,8747 m, 4,1224 m, 2,9665 m, dan 1,5633 m sedangkan ketinggian maksimum berturut-turut sebesar 0,37559 m, 1,1233 m, 1,9311 m, 2,60306 m, dan 3,1143 m, pada Gambar 4.8 bagian (d) dihasilkan jarak maksimum berturut-turut sebesar 5,2502 m, 4,9613 m, 4,1139 m, 2,915 m, dan 1,4931 m sedangkan ketinggian maksimum berturut-turut sebesar 0,4871 m, 1,3207 m, 2,1448 m, 2,8046 m, dan 3,2105 m. Di samping itu, bilangan Reynold, konstanta linier, dan konstanta Magnus yang dihasilkan sebesar 43,1, 2,5133, dan 0,18849. Pada Gambar 4.8 bagian (a) dan bagian (b) dapat dilihat bahwa jarak maksimum terbesar didapatkan pada saat peluru ditembakkan dengan sudut tembakan 30° . Hasil berbeda diperoleh pada Gambar 4.8 bagian (c) dan bagian (d), dimana jarak maksimum terbesar didapatkan pada saat peluru ditembakkan dengan sudut tembakan 15° . Namun, dari keempat gambar tersebut ketinggian maksimum yang diperoleh adalah pada saat peluru ditembakkan dengan sudut tembakan 75° .

Berdasarkan uraian pada subsubab 4.1.3, dapat dibuat tabel simulasi gerak peluru dengan memvariasi parameter-parameternya seperti pada Tabel 4.1. pada tabel tersebut, T menunjukkan simulasi pada gerak peluru dengan *topspin*, dan B menunjukkan simulasi pada gerak peluru dengan *backspin*.

Tabel 4.1 Hasil simulasi gerak peluru dengan *spin* dan hambatan linier

| No | Variasi | | Re | kL | kM | Xmaks | Ymaks | Ket | |
|----|---|---|------------|--------|---------|---------|---------|---------|---|
| 1 | f | 0 | 43,1 | 2,5133 | 0 | 4,0413 | 2,0368 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0 | 4,0413 | 2,0368 | B | |
| | | 5 | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,078 | 1,9311 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 3,9937 | 2,1448 | B | |
| | | 10 | 43,1 | 2,5133 | 0,37689 | 4,1024 | 1,8292 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,37689 | 3,9361 | 2,2534 | B | |
| 2 | r | 0,02 | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,078 | 1,9311 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 3,9937 | 2,1448 | B | |
| | | 0,03 | 64,65 | 3,7699 | 0,63616 | 2,844 | 1,3944 | T | |
| | | | 64,65 | 3,7699 | 0,63616 | 2,6811 | 1,8073 | B | |
| 3 | m | 0,0027 | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,078 | 1,9311 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 3,9937 | 2,1448 | B | |
| | | 0,0035 | 43,1 | 1,9388 | 0,14541 | 5,0811 | 2,2243 | T | |
| | | | 43,1 | 1,9388 | 0,14541 | 5,0101 | 2,4494 | B | |
| 4 | v_o | 15 | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,078 | 1,9311 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 3,9937 | 2,1448 | B | |
| | | 10 | 28,7333 | 2,5133 | 0,18849 | 2,5355 | 1,0625 | T | |
| | | | 28,7333 | 2,5133 | 0,18849 | 2,5102 | 1,1641 | B | |
| 5 | $x(t_0),$ $y(t_0)$ | $x(t_0) = 0$ $y(t_0) = 0$ | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,078 | 1,9311 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 3,9937 | 2,1448 | B | |
| | | $x(t_0) = 0$ $y(t_0) = 3$ | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,1236 | 1,9311 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,2954 | 2,1448 | B | |
| 6 | α $x(t_0) = 0,$ $y(t_0) = 0$ | 15° | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,0729 | 0,37599 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,5549 | 0,48709 | B | |
| | | 30° | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,6407 | 1,1233 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,7306 | 1,3207 | B | |
| | | 45° | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,078 | 1,9311 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 3,9937 | 2,1448 | B | |
| | | 60° | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 2,9878 | 2,6306 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 2,8292 | 2,8046 | B | |
| | | 75° | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 1,6411 | 3,1143 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 1,4218 | 3,2105 | B | |
| | | α $x(t_0) = 0,$ $y(t_0) = 1$ | 15° | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,9725 | 0,37599 | T |
| | | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 5,2502 | 0,48709 | B |
| | 30° | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,8747 | 1,1233 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,9613 | 1,3207 | B | |
| | 45° | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,1224 | 1,9311 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 4,1139 | 2,1448 | B | |
| | 60° | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 2,9665 | 2,6306 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 2,915 | 2,8046 | B | |
| | 75° | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 1,5633 | 3,1143 | T | |
| | | | 43,1 | 2,5133 | 0,18849 | 1,4931 | 3,2105 | B | |

4.2 Pembahasan

Gambar 4.2 merupakan hasil simulasi gerak peluru dengan diberikan frekuensi *spin* sama dengan nol. Pada gambar tersebut dapat diamati bahwa lintasan gerak peluru yang dihasilkan tidak berbentuk parabola, melainkan mendekati parabola dengan titik puncak sedikit bergeser ke kanan. Jika frekuensi *spin* sama dengan nol, maka gaya Magnus tidak bekerja sehingga persamaan (2.13) dan persamaan (2.14) menjadi sama yaitu $\frac{dv_x}{dt} = -\frac{6\pi\eta r}{m}v_x$ untuk komponen vektor **i** dan $\frac{dv_y}{dt} = -g - \frac{6\pi\eta r}{m}v_y$ untuk komponen vektor **j**. Persamaan tersebut merupakan persamaan gerak peluru dengan hambatan linier. Hal ini sesuai dengan hasil simulasi pada Gambar 4.2 dimana dengan memberikan frekuensi *spin* sama dengan nol, antara Gambar 4.2 bagian (a) dan bagian (b) diperoleh hasil yang sama persis. Bentuk lintasan ini juga sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ainurrofiq yaitu lintasan gerak peluru dengan hambatan linier tidak lagi berbentuk parabola tetapi mendekati parabola dengan titik puncak sedikit bergeser ke kanan.

Hasil simulasi gerak peluru dengan variasi frekuensi *spin* dapat dilihat pada Gambar 4.3. berdasarkan hasil tersebut dapat diamati bahwa dengan diberikan *spin* pada bola diperoleh hasil yang sedikit berbeda dibandingkan dengan tanpa *spin*. Hal ini dikarenakan peluru yang ditembakkan dengan disertai *spin* mengalami perbedaan tekanan pada kedua sisi bola. Perbedaan tekanan ini menyebabkan pembelokan *lateral* pada lintasannya. Perbedaan tekanan sebanding dengan frekuensi *spin*, yaitu semakin besar frekuensi *spin* semakin besar pula perbedaan tekanan pada kedua sisi bola. Pada peluru yang ditembakkan dengan *topspin*, tekanan pada sisi atas bola lebih besar daripada tekanan pada sisi bawahnya. Akibatnya peluru menukik ke bawah dan nilai ketinggian maksimumnya menjadi lebih kecil dibandingkan peluru yang ditembakkan dengan tanpa *spin*. Semakin besar frekuensi *spin* yang diberikan, maka lintasan gerak peluru dengan *topspin* semakin menukik tajam dan nilai ketinggian maksimumnya semakin kecil. Sebaliknya, peluru yang ditembakkan dengan *backspin*, tekanan pada sisi atas bola lebih kecil daripada tekanan pada sisi bawahnya.

Akibatnya, peluru sedikit terangkat ke atas dan nilai ketinggian maksimumnya menjadi lebih besar dibandingkan peluru yang ditembakkan dengan tanpa *spin*. Semakin besar frekuensi *spin* yang diberikan, lintasan gerak peluru dengan *backspin* semakin terangkat ke atas dan nilai ketinggian maksimumnya semakin besar. Dari uraian tersebut, dapat diketahui bahwa ketinggian maksimum bola yang ditembakkan dengan *topspin* lebih kecil daripada ketinggian maksimum bola yang ditembakkan dengan *backspin*. Semakin besar frekuensi *spin* yang diberikan semakin besar pula selisih ketinggian maksimum antara bola yang ditembakkan dengan *topspin* dan bola yang ditembakkan dengan *backspin*.

Dari persamaan (2.13) dan (2.14) dapat dilihat bahwa besar perlambatan pada gerak peluru dengan hambatan udara dipengaruhi oleh konstanta hambatan linier yaitu $\frac{(6\pi\eta r)}{m}$. Besar konstanta hambatan linier dipengaruhi oleh jari-jari dan massa bola. Semakin kecil jari-jari bola, semakin kecil pula konstanta hambatan liniernya, dan sebaliknya. Berbeda dengan massa bola, semakin kecil massa bola semakin besar konstanta hambatan linier. Dari persamaan itu pula dapat dilihat bahwa besar pembelokan lateral dipengaruhi oleh konstanta Magnus yaitu $\frac{(C_L \rho D^3 f)}{m}$. Sedangkan konstanta Magnus dipengaruhi oleh jari-jari bola, massa bola, dan frekuensi *spin*. Semakin kecil jari-jari bola, semakin kecil pula pembelokan lateralnya, semakin besar jari-jari bola semakin kecil pembelokan lateralnya, dan semakin besar frekuensi *spin* semakin besar pembelokan lateralnya, demikian juga sebaliknya. Besar kecilnya konstanta yang diberikan, baik konstanta hambatan linier maupun konstanta Magnus, akan mempengaruhi bentuk lintasan pada gerak peluru.

berdasarkan hasil simulasi serta visualisasi pada Gambar 4.4 dapat diamati bahwa jika diberikan jari-jari bola lebih besar, maka akan menghasilkan jarak dan ketinggian maksimum yang lebih kecil tetapi pembelokan lateralnya semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin besar jari-jari bola, maka nilai konstanta linier dan konstanta Magnusnya semakin besar. Jika konstanta linier semakin besar, maka perlambatan bola yang dipengaruhi oleh udara juga bernilai lebih besar sehingga

jarak dan ketinggian maksimumnya semakin besar serta lintasannya mendekati parabola. Sedangkan, semakin besar konstanta Magnus mengakibatkan pembelokan lateralnya juga semakin besar, yaitu tingkat menekiknya gerak peluru dengan *topspin* dan tingkat terangkatnya gerak peluru dengan *backspin* juga semakin besar.

Pada simulasi gerak peluru dengan memvariasi massa bola (Gambar 4.5), dapat dilihat bahwa dengan diberikan massa yang lebih besar dihasilkan jarak dan ketinggian maksimum yang lebih besar pula tetapi pembelokan lateralnya menjadi lebih kecil. Hal ini dikarenakan semakin besar massa bola maka konstanta liniernya semakin kecil yang mengakibatkan perlambatannya juga semakin kecil. Semakin kecil perlambatan maka semakin besar jarak dan ketinggian maksimum yang dihasilkan tetapi pembelokan lateral menjadi lebih kecil. Hal ini dikarenakan pada pemberian massa yang lebih besar, konstanta Magnusnya menjadi lebih kecil. Semakin kecil konstanta Magnusnya, maka semakin kecil juga pembelokan lateral yang dihasilkan.

Pada hasil simulasi dengan memberikan nilai kecepatan awal bola yang berbeda menghasilkan jarak dan ketinggian maksimum serta pembelokan lateral yang berbeda pula. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.6, dimana dengan diberikan kecepatan awal yang lebih besar dihasilkan jarak dan ketinggian maksimum yang lebih besar juga. Hal ini dikarenakan apabila kecepatan awal semakin besar mengakibatkan kecepatan awal pada arah vertikal ($v_y = v_0 \sin \alpha$) semakin besar sehingga waktu yang diperlukan bola untuk bernilai nol pada arah vertikal semakin besar. Oleh karena itu, ketinggian maksimum semakin besar dan waktu yang dibutuhkan bola untuk sampai pada permukaan tanah semakin besar. Hal serupa terjadi pada arah horizontal ($v_x = v_0 \cos \alpha$) yaitu semakin besar kecepatan awal mengakibatkan kecepatan awal pada arah horizontal semakin besar. Apabila waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke permukaan tanah semakin besar maka jarak maksimum yang dihasilkan semakin besar pula.

Hasil simulasi dan visualisasi pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa jika bola ditembakkan dengan ketinggian maka akan mempunyai jarak maksimum yang berbeda. Jarak maksimum bola yang ditembakkan dengan ketinggian lebih besar dibandingkan jarak maksimum bola yang ditembakkan dengan tanpa ketinggian. Hal ini dikarenakan pada bola yang ditembakkan dengan ketinggian mempunyai waktu yang lebih besar untuk mencapai jarak maksimum dibandingkan dengan bola yang ditembakkan dengan tanpa ketinggian. Namun, pada saat bola ditembakkan dengan ketinggian, terjadi perbedaan yang mencolok antara bola yang ditembakkan dengan *topspin* dan bola yang ditembakkan dengan *backspin*. Jarak maksimum bola yang ditembakkan dengan *topspin* tidak dicapai pada saat bola menyentuh permukaan tanah, melainkan pada saat peluru melayang di udara. Hal ini dikarenakan bola yang ditembakkan dengan *topspin* akan menukik dan membelokkan bola searah jarum jam sedemikian hingga perlambatan pada arah horizontalnya lebih besar. Apabila kecepatan pada arah horizontalnya menjadi nol sebelum bola menyentuh tanah, maka bola akan berbalik arah karena adanya pengaruh *topspin* yang membelokkan bola searah jarum jam. Akibatnya, jarak bola pada saat menyentuh tanah lebih kecil daripada jarak bola pada saat kecepatan pada arah horizontalnya nol (peluru mencapai jarak maksimum). Pada bola yang ditembakkan dengan *topspin*, antara bola yang ditembakkan dengan ketinggian dan bola yang ditembakkan tidak dengan ketinggian adakalanya menghasilkan jarak maksimum yang sama. Hal ini terjadi apabila jarak maksimum pada bola yang ditembakkan tidak dengan ketinggian didapatkan pada saat bola masih melayang di udara. Namun, hal tersebut berkebalikan pada saat bola ditembakkan dengan *backspin*. Bola yang ditembakkan dengan *backspin* akan sedikit terangkat sedemikian hingga perlambatan pada arah horizontalnya lebih kecil dan waktu bola berada di udara lebih besar. Akibatnya, bola jatuh ke permukaan tanah lebih jauh, sehingga jarak maksimum diperoleh pada saat peluru jatuh ke permukaan tanah.

Pada saat bola ditembakkan dengan variasi sudut, besarnya jarak dan ketinggian maksimum dipengaruhi oleh kecepatan awal pada arah vertikal, kecepatan awal pada arah horizontal, waktu yang dibutuhkan bola untuk mencapai titik puncak atau jarak maksimum, serta besarnya pembelokan *lateral* yang terjadi. Semakin besar sudut tembakan yang diberikan, maka kecepatan awal bola pada arah horizontal akan semakin kecil. Hal tersebut berbanding terbalik terhadap kecepatan awal pada arah vertikal, dimana semakin besar sudut tembakan yang diberikan maka kecepatan awal pada arah vertikal akan semakin besar. Semakin besar v_y , maka ketinggian maksimum yang diperoleh semakin besar dan waktu yang dibutuhkan untuk v_y bernilai nol semakin besar pula. Sedangkan, apabila semakin besar v_x , maka waktu yang dibutuhkan v_x bernilai nol semakin besar pula tetapi jarak maksimum yang dihasilkan masih bergantung terhadap besarnya waktu yang dibutuhkan bola untuk mencapai maksimum. Semakin besar waktu bola untuk mencapai maksimum, maka semakin besar jarak maksimum yang dihasilkan. Di samping itu, Pembelokan *lateral* juga mempengaruhi besarnya jarak dan ketinggian maksimum suatu bola. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa bola yang ditembakkan dengan *topspin* akan menukik tajam sehingga memperbesar v_x dan memperkecil v_y ketika bola melayang di udara. Sedangkan, bola yang ditembakkan dengan *backspin* akan sedikit terangkat ke atas sehingga memperkecil v_x dan memperbesar v_y ketika bola melayang di udara.

Hasil simulasi dan visualisasi pada Gambar 4.8, ketinggian maksimum terbesar didapatkan pada saat sudut tembakan 75° , hal ini karena v_y yang dihasilkan mempunyai nilai paling besar dibandingkan dengan sudut yang lain dan mengakibatkan waktu bola jatuh ke permukaan tanah semakin besar pula. Pada saat bola ditembakkan dengan posisi awal $x(t_0) = 0$, $y(t_0) = 0$, jarak maksimum terbesar diperoleh pada saat sudut tembakan 30° . Hal ini dikarenakan pada saat bola ditembakkan dengan sudut 15° , frekuensi *spin* dan waktu yang diperlukan oleh bola untuk mencapai permukaan tanah relatif kecil sehingga jarak maksimum yang dihasilkan tidak terlalu besar meskipun bola tersebut mempunyai nilai v_x cukup

tinggi. Selanjutnya, pada saat bola ditembakkan dengan sudut 45° waktu yang diperlukan oleh bola untuk jatuh di permukaan tanah relatif besar dibandingkan dengan sudut tembakan 15° dan 30° tetapi nilai v_x lebih kecil dibandingkan dengan kedua sudut tersebut sehingga jarak maksimum yang dihasilkan tidak terlalu besar. Hal ini juga terjadi pada saat bola ditembakkan dengan sudut tembakan 60° dan 75° yaitu waktu tempunya semakin besar seiring dengan semakin besarnya sudut tembakan tetapi nilai v_x semakin kecil. Pada saat bola ditembakkan dengan sudut 30° , waktu yang diperlukan bola untuk jatuh di permukaan tanah dan nilai v_x dari bola tersebut relatif besar sehingga jarak maksimum terbesar dari variasi sudut 15° , 30° , 45° , 60° , dan 75° diperoleh pada saat sudut tembakan 30° . Namun terdapat perbedaan jarak maksimum antara gerak peluru dengan *topspin* dan *backspin* pada sudut tembakan 15° , dimana jarak maksimum bola dengan *topspin* mendekati jarak tembakan dengan sudut tembakan 45° sedangkan bola dengan *backspin* mendekati sudut tembakan 30° . Hal ini dikarenakan pada bola dengan *topspin* sedikit menukik sehingga pada sudut yang relatif kecil akan menempuh jarak maksimum yang lebih kecil sedangkan pada bola dengan *backspin* sedikit terangkat ke atas sehingga pada sudut tembakan yang relatif kecil akan menempuh jarak maksimum yang lebih besar.

Pada saat bola ditembakkan dengan posisi awal $x(t_0) = 0$, $y(t_0) = 1$, jarak maksimum terbesar diperoleh pada saat diberikan sudut tembakan 15° . Hal ini dikarenakan posisi awal pada arah y yang diberikan mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan posisi awal $x(t_0) = 0$, $y(t_0) = 0$, sehingga waktu yang diperlukan bola untuk jatuh mencapai jarak maksimum lebih besar. Oleh karena itu, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa semakin kecil sudut tembakan yang diberikan, maka kecepatan pada arah horizontal akan semakin besar dan apabila diberikan posisi awal pada arah y yang semakin besar maka waktu yang diperlukan peluru untuk mencapai jarak maksimum akan semakin besar pula. Jika kedua hal tersebut terpenuhi maka jarak maksimum terbesar akan terjadi pada peluru dengan sudut tembakan terkecil.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada subbab 4.2, maka dapat disimpulkan profil gerak peluru yang dipengaruhi oleh *spin* (*topspin*; *backspin*) dan hambatan linier sebagai berikut:

1. Semakin besar frekuensi *spin* dan hambatan linier yang berlawanan arah terhadap arah gerak bola, maka didapatkan lintasan gerak peluru dengan *topspin* yang semakin menukik tajam dan nilai ketinggian maksimumnya semakin kecil. Sedangkan, lintasan gerak peluru dengan *backspin* dan hambatan linier semakin terangkat ke atas dan nilai ketinggian maksimumnya semakin besar;
2. Semakin besar jari-jari bola yang diberikan, maka didapatkan jarak dan ketinggian maksimum yang semakin kecil tetapi pembelokan *lateral*-nya semakin besar;
3. Semakin besar massa bola yang diberikan, maka didapatkan jarak dan ketinggian maksimum yang semakin besar, tetapi pembelokan *lateral*-nya semakin kecil;
4. Semakin besar kecepatan awal yang diberikan, maka didapatkan jarak dan ketinggian maksimum yang semakin besar;
5. Semakin tinggi posisi awal yang diberikan, maka jarak maksimum yang didapatkan oleh gerak peluru dengan *topspin* lebih kecil dibandingkan dengan jarak maksimum yang didapatkan oleh gerak peluru dengan *backspin*.
6. Semakin besar sudut tembakan yang diberikan maka didapatkan ketinggian maksimum yang semakin besar pula. Semakin kecil sudut tembakan bola dengan ketinggian, maka didapatkan jarak maksimum yang semakin besar.

5.2 Saran

Pada skripsi ini masih terdapat banyak asumsi dan batasan, misalnya benda yang digunakan berbentuk bola dan tidak mengalami *slidespin* serta mengabaikan hembusan angin. Oleh karena itu, masih terbuka kemungkinan bagi peneliti lain untuk melanjutkan penelitian ini dengan cara mengurangi asumsi-asumsi atau menambah parameternya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainurrofiq, R. 2011. *Profil Gerak Peluru dengan Hambatan dan Tanpa Hambatan Udara*. Tidak Dipublikasikan. Jember: Universitas Jember.
- Dianto. 2011. *Analisis Lintasan Gerak Bola Yang Memiliki Spin dalam Permainan Sepak Bola*. [serial on line]. <http://www.scribd.com/doc/76438941/Dianto-artikel-kolokium-analisis-efek-magnus-pada-lintasan-sepak-bola>. [10 februari 2012].
- Hidayat, R. 1997. *Matematika Teknik*. Jember: FMIPA Universitas Jember.
- Hidayat, R. 2006. *Persamaan Diferensial Parsial*. Jember: UPT Penerbitan Universitas Jember.
- Olson, R.M. & Wright, S. J. *Dasar-dasar Mekanika Fluida Teknik*. Edisi Kelima. Alih bahasa oleh Alex Tri Kantjono Widodo. 1993. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Sahid. 2005. *Pengantar Komputasi Numeri dengan Matlab*. Yogyakarta: Andi.
- Sarojo, G. A. 2002. *Seri Fisika Dasar: mekanika*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Sears, F.W., Zemansky, M. W. dan Young, H. G. 1982. *Fisika Universitas*. Edisi Keenam. Alih bahasa oleh Sri Jatno Wirjosoedirdjo dan Soegeng. 1993. Jakarta: Erlangga.
- Surya, Y. (Tanpa Tahun). *Kejar Grand Slam dengan Fisika*. [serial on line]. www.yohanessurya.com/download/penulis/Olahraga_04.pdf. [6 Januari 2012].
- Sutrisno. 1997. *Fisika Dasar: Mekanika*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Triatmodjo, B. 2002. *Metode Numerik*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Waluyo, S. B. 2006. *Persamaan Diferensial*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Wheelan, P. M. & Hodgson. M. J. 1978. *Essential Physics*. London: John Murray.

LAMPIRAN

A. Frekuensi *Spin*

```

%=====
edit31=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[110 95 50 20],...
'style','text',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9]);

p=1;s1=0; s2=0;s3=0;s4=0;s5=1;
%=====

labell1=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 55 80 10],...
'style','Text',...
'string','Frekuensi 1 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit12=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 57 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');
labell1=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 45 80 10],...
'style','Text',...
'string','Frekuensi 2 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit13=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 47 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');
labell1=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 35 80 10],...
'style','Text',...
'string','Frekuensi 3 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

```

```

edit14=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 37 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

```

B. Jari-jari Bola

```

%=====
edit31=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[110 115 50 20],...
'style','text',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9]);

p=1;s1=0; s2=0;s3=0;s4=1;s5=0;
%=====

labell1=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 55 80 10],...
'style','Text',...
'string','Jari-jari 1 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit12=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 57 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');
labell1=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 45 80 10],...
'style','Text',...
'string','Jari-jari 2 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit13=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 47 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

```

C. Massa Bola

```

=====
edit31=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[110 135 50 20],...
'style','text',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9]);

p=1;s1=0; s2=0;s3=1;s4=0;s5=0;
=====

labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 55 80 10],...
'style','Text',...
'string','massa 1 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit12=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 57 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');
labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 45 80 10],...
'style','Text',...
'string','massa 2 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit13=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 47 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

```

D. Kecepatan Awal

```

=====
edit31=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[110 155 50 20],...
'style','text',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9]);
s1=0; s2=1;s3=0;s4=0;s5=0;
p=1;
=====

```

```

labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 55 80 10],...
'style','Text',...
'string','Kecepatan 1 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit12=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 57 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');
labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 45 80 10],...
'style','Text',...
'string','Kecepatan 2 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit13=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 47 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

```

E. Posisi Awal

```

%=====
edit31=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[110 195 50 19],...
'style','text',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9]);
edit31=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[110 215 50 19],...
'style','text',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9]);

p=1;s1=0; s2=0;s3=0;s4=0;s5=0;s6=1;
%=====
labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 55 80 10],...
'style','Text',...
'string','X Awal 1 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

```

```

edit12=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 57 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');
labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 45 80 10],...
'style','Text',...
'string','Y Awal 1 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit13=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 47 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');
labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 35 80 10],...
'style','Text',...
'string',' X Awal 2 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit14=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 37 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');
labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 25 80 10],...
'style','Text',...
'string','Y Awal 2 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit15=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 27 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...

```

```
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');
```

F. Sudut Tembakan

```
%=====
edit31=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[110 175 50 20],...
'style','text',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9]);

p=1;s1=1; s2=0;s3=0;s4=0;s5=0;
%=====
labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 55 80 10],...
'style','Text',...
'string','Sudut 1 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit12=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 57 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');
labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 45 80 10],...
'style','Text',...
'string','Sudut 2 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit13=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 47 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');
labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 35 80 10],...
'style','Text',...
'string',' Sudut 3 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit14=uicontrol('parent',win1,...
```

```

'units','points',...
'position',[555 37 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');
labell=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 25 80 10],...
'style','Text',...
'string','Sudut 4 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit15=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 27 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');
labell=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[485 15 80 10],...
'style','Text',...
'string','Sudut 5 :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

edit16=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[555 17 50 10],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',8,...
'fontweight','bold');

```

G. Gerak Peluru

```

clc; clear all;
close all;
ulang=0; p=0;
s1=0; s2=0; s3=0; s4=0; s5=0; s6=0;
win1=figure(...
'units','points',...
'position',[50 50 640 335],...
'color',[.8 .8 .9],...
'menubar','none',...
'resize','off',...
'numbertitle','off',...
'name','SIMULASI GERAK PELURU DENGAN SPIN DAN HAMBATAN LINIER');

```

```

%=====

```



```

hp = uipanel('parent',win1,...
            'Title','Input','FontSize',12,...
            'units','points',...
            'fontweight','bold',...
            'BackgroundColor',[.8 .8 .9],...
            'Position',[13 75 155 175]);

hp = uipanel('parent',win1,...
            'Title','Jenis Spin','FontSize',12,...
            'units','points',...
            'fontweight','bold',...
            'BackgroundColor',[.8 .8 .9],...
            'Position',[13 35 155 55]);

hp = uipanel('parent',win1,...
            'Title','Detail','FontSize',12,...
            'units','points',...
            'BackgroundColor',[.8 .8 .9],...
            'Position',[480 50 150 200]);
hp = uipanel('parent',win1,...
            'Title','Variasi','FontSize',12,...
            'units','points',...
            'BackgroundColor',[.8 .8 .9],...
            'Position',[480 13 150 65]);

            hp = uipanel('parent',win1,...
            'Title','output','FontSize',12,...
            'units','points',...
            'fontweight','bold',...
            'BackgroundColor',[.8 .8 .9],...
            'Position',[175 13 300 240]);

%=====

labell=uicontrol('parent',win1,...
                'units','points',...
                'position',[125 290 450 24],...
                'style','Text',...
                'string',' LINTASAN GERAK PELURU ',...
                'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
                'fontname','Times New Roman',...
                'fontsize',15,...
                'fontweight','bold',...
                'foregroundcolor',[.0 .0 .0]);

labell=uicontrol('parent',win1,...
                'units','points',...
                'position',[170 0 1 260],...
                'style','Text',...
                'backgroundcolor',[.3 .3 .3],...
                'foregroundcolor',[1 1 1]);
labell=uicontrol('parent',win1,...
                'units','points',...
                'position',[0 260 700 1],...
                'style','Text',...
                'backgroundcolor',[.3 .3 .3],...
                'foregroundcolor',[1 1 1]);
%=====

labell=uicontrol('parent',win1,...
                'units','points',...
                'position',[25 210 80 20],...
                'style','Text',...
                'string','X awal :',...
                'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...

```

```

'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');

edit1=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[106 215 57 20],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',10,...
'fontweight','bold');

labell=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[25 190 80 20],...
'style','Text',...
'string','Y awal :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');

edit2=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[106 195 57 20],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',10,...
'fontweight','bold');
labell=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[25 170 80 20],...
'style','Text',...
'string','Sudut Tembak :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');

edit3=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[106 175 57 20],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',10,...
'fontweight','bold');
labell=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[25 150 80 20],...
'style','Text',...
'string','Kecepatan :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');

edit4=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[106 155 57 20],...

```

```

'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',10,...
'fontweight','bold');

labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[25 130 80 20],...
'style','Text',...
'string','Massa Benda :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');

edit5=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[106 135 57 20],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',10,...
'fontweight','bold');
labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[25 106 80 20],...
'style','Text',...
'string','Jari-jari :',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');

edit6=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[106 115 57 20],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',10,...
'fontweight','bold');
labell=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[25 90 80 20],...
'style','Text',...
'string','Frekuensi Spin:',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','Times New Roman',...
'fontsize',12,...
'fontweight','bold');

edit7=uicontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[106 95 57 20],...
'style','edit',...
'string','0',...
'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
'fontname','comic',...
'fontsize',10,...
'fontweight','bold');

```

```

%=====
% Detail
lstboxKet1=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[485 78 138 158],...
    'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
    'foregroundcolor',[0 0 1],...
    'style','listbox',...
    'string','',...
    'fontname','tahoma',...
    'fontsize',8);

%=====
top_spin=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[25 55 80 20],...
    'style','Radiobutton',...
    'string','Top Spin',...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .9],...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);

back_spin=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[25 40 80 15],...
    'style','Radiobutton',...
    'string','Back Spin',...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .9],...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);

%=====
proses=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[90 10 75 20],...
    'style','Pushbutton',...
    'callback','Proses',...
    'string','Proses',...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);

%=====
prosl1=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[13 10 75 20],...
    'style','Pushbutton',...
    'callback','GERAK_PELURU',...
    'string','Reset',...
    'fontname','times new roman',...
    'fontsize',12);

%=====

grafik1=axes('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[10 265 90 70],...
    'fontsize',8,...
    'color',[1 1 1]);
olmat=imread('unej.jpg');
    imshow(olmat);
        set(win1,'CurrentAxes',grafik1);

grafik3=axes('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[210 40 250 180],...
    'fontsize',8,...
    'color',[1 1 1]);

```

```

xlabel('Jarak');
ylabel('Ketinggian');

%=====
menu1=uimenu('parent',win1,...
    'Label',' Variasi ');
menu1_1=uimenu('parent',menu1,...
    'Label','Posisi Awal',...
    'Callback','posisi');
menu1_1=uimenu('parent',menu1,...
    'Label','Sudut Tembak',...
    'Callback','sudut_tembak');
menu1_1=uimenu('parent',menu1,...
    'Label','Kecepatan',...
    'Callback','kecepatan');
menu1_1=uimenu('parent',menu1,...
    'Label','Massa Benda',...
    'Callback','massa');
menu1_1=uimenu('parent',menu1,...
    'Label','Jari-jari',...
    'Callback','jari2');
menu1_1=uimenu('parent',menu1,...
    'Label','Frekuensi Spin',...
    'Callback','frek_spin');
menu2=uimenu('parent',win1,...
    'Label',' Tools ');
menu1_1=uimenu('parent',menu2,...
    'Label','Zoom',...
    'Callback','besar');
menu1_1=uimenu('parent',menu2,...
    'Label','Pan',...
    'Callback','geser');
menu2=uimenu('parent',win1,...
    'Label',' Keluar ',...
    'Callback','close');

```

H. Runge-Kutta

```

% for k=1:5 % pengulangan untuk input beberapa sudut
tho=theta*pi/180;
vxt(1,1)=v0*cos(tho);
vyt(1,1)=v0*sin(tho);
Vxt=vxt; Vyt=vyt;
D=2*r;
h_k=6*pi*eta*r/m;
h_m=C1*Ro*D^3*f/m;
%bilangan reynold
Re=Ro*v0*D/eta;
if Re >=2000
    errordlg('Error!!! Bilangan Reynold > 0.1',' Error');
    break;
end

grid on;
if T_spin==1
for i=2:n
    % top spin
    k1=(C1*Ro*D^3*f/m)*vyt(i-1,1)-(6*pi*eta*r/m)*vxt(i-1,1);
    k2=(C1*Ro*D^3*f/m)*(vyt(i-1,1)+0.5*k1*dt)-(6*pi*eta*r/m)*(vxt(i-1,1)+0.5*k1*dt);
    k3=(C1*Ro*D^3*f/m)*(vyt(i-1,1)+0.5*k2*dt)-(6*pi*eta*r/m)*(vxt(i-1,1)+0.5*k2*dt);
    k4=(C1*Ro*D^3*f/m)*(vyt(i-1,1)+k3*dt)-(6*pi*eta*r/m)*(vxt(i-1,1)+k3*dt);
    vxt(i,1)=(vxt(i-1,1))+(k1+2*k2+2*k3+k4)*dt/6;

    k1=-g-(C1*Ro*D^3*f/m)*vxt(i-1,1)-(6*pi*eta*r/m)*vyt(i-1,1)-g;

```

```

        k2=-g-(Cl*Ro*D^3*f/m)*(vx(i-1,1)+0.5*k1*dt)-(6*pi*eta*r/m)*(vy(i-
1,1)+0.5*k1*dt);
        k3=-g-(Cl*Ro*D^3*f/m)*(vx(i-1,1)+0.5*k2*dt)-(6*pi*eta*r/m)*(vy(i-
1,1)+0.5*k2*dt);
        k4=-g-(Cl*Ro*D^3*f/m)*(vx(i-1,1)+k3*dt)-(6*pi*eta*r/m)*(vy(i-1,1)+k3*dt);
        vy(i,1)=(vy(i-1,1))+(k1+2*k2+2*k3+k4)*dt/6;

        xt(i,1)=xt(i-1,1)+(vx(i,1))*dt;
        yt(i,1)=yt(i-1,1)+(vy(i,1))*dt;

        if yt(i,1)<0
            i=i-1;
            yt=yt(1:i,1); xt=xt(1:i,1);
            break
        end
    end

    ymaks= max(yt); xmaks=xt(i);
    j=1; maks=yt(j);
    while maks~=ymaks
        maks=yt(j); j=j+1;
    end
    ymaks= max(yt)-yt(1); xmaks=max(xt)-xt(1);
    xmaks=num2str(xmaks); ymaks=num2str(ymaks);
    tx=i*dt; ty=j*dt;
    tx=num2str(tx); ty=num2str(ty);
    set(win1,'CurrentAxes',grafik3);
    grid on;
end

if B_spin==1
for i=2:n

    % back spin
    k1=-(Cl*Ro*D^3*f/m)*Vyt(i-1,1)-(6*pi*eta*r/m)*Vxt(i-1,1);
    k2=-(Cl*Ro*D^3*f/m)*(Vyt(i-1,1)+0.5*k1*dt)-(6*pi*eta*r/m)*(Vxt(i-1,1)+0.5*k1*dt);
    k3=-(Cl*Ro*D^3*f/m)*(Vyt(i-1,1)+0.5*k2*dt)-(6*pi*eta*r/m)*(Vxt(i-1,1)+0.5*k2*dt);
    k4=-(Cl*Ro*D^3*f/m)*(Vyt(i-1,1)+k3*dt)-(6*pi*eta*r/m)*(Vxt(i-1,1)+k3*dt);
    Vxt(i,1)=(Vxt(i-1,1))+(k1+2*k2+2*k3+k4)*dt/6;

    k1=-g+(Cl*Ro*D^3*f/m)*Vxt(i-1,1)-(6*pi*eta*r/m)*Vyt(i-1,1)-g;
    k2=-g+(Cl*Ro*D^3*f/m)*(Vxt(i-1,1)+0.5*k1*dt)-(6*pi*eta*r/m)*(Vyt(i-
1,1)+0.5*k1*dt);
    k3=-g+(Cl*Ro*D^3*f/m)*(Vxt(i-1,1)+0.5*k2*dt)-(6*pi*eta*r/m)*(Vyt(i-
1,1)+0.5*k2*dt);
    k4=-g+(Cl*Ro*D^3*f/m)*(Vxt(i-1,1)+k3*dt)-(6*pi*eta*r/m)*(Vyt(i-1,1)+k3*dt);
    Vyt(i,1)=(Vyt(i-1,1))+(k1+2*k2+2*k3+k4)*dt/6;

    Xt(i,1)=Xt(i-1,1)+(Vxt(i,1))*dt;
    Yt(i,1)=Yt(i-1,1)+(Vyt(i,1))*dt;

    if Yt(i,1)<=0
        i=i-1;
        Yt=Yt(1:i,1); Xt=Xt(1:i,1);
        break
    end
end
Ymaks= max(Yt); Xmaks=Xt(i);
j=1; maks=Xt(j);
while maks~=Ymaks
    maks=Yt(j); j=j+1;
end
tX=i*dt; tY=j*dt;

```

```

Ymaks= max(Yt)-Yt(1); Xmaks=max(Xt)-Xt(1);

end
ol=ol+1;

%
if p~=0
    if B_spin==1
        xmaks=num2str(Xmaks); ymaks=num2str(Ymaks);
        tx=num2str(tX); ty=num2str(tY);
        xt=Xt; yt=Yt;
    end
    h_k=num2str(h_k); h_m=num2str(h_m);
    re=num2str(Re);
    isre=joinseq('Reynold = ',re);
    isl2=joinseq('X maks = ',xmaks);
    isl3=joinseq('Y maks = ',ymaks);
    isl4=joinseq('Konstanta L = ',h_k);
    isl5=joinseq('Konstanta M = ',h_m);
    ket(u:u+5)={isl1,isre,isl4,isl5,isl2,isl3};
    set(lstboxKet1,'string',ket);
    u=u+7;
k=ol-1;
    if k==1

        plot(xt,yt,'.-b'); hold on
        legend ([s1]);
        xt1=xt;
        yt1=yt;
    elseif k==2
        plot(xt1,yt1,'.-b',xt,yt,'.-g'); hold on
        legend (s1,s2);
        xt2=xt;
        yt2=yt;
    elseif k==3
        plot(xt1,yt1,'.-b',xt2,yt2,'.-g',xt,yt,'.-r'); hold on
        legend (s1,s2,s3);
        xt3=xt;yt3=yt;
    elseif k==4
        plot(xt1,yt1,'.-b',xt2,yt2,'.-g',xt3,yt3,'.-r',xt,yt,'.-y'); hold on
        legend (s1,s2,s3,s4);
        xt4=xt;yt4=yt;
    elseif k==5
        plot(xt1,yt1,'.-b',xt2,yt2,'.-g',xt3,yt3,'.-r',xt4,yt4,'.-y',xt,yt,'.-m');
    hold on
        legend (s1,s2,s3,s4,s5);
    end
hold off
end

```

I. Proses

```

clc;
ol=1;
Cl=1.23;
Ro=1.293;
f=str2num(get(edit7,'String'));
m=str2num(get(edit5,'String'));
eta=0.018;
r=str2num(get(edit6,'String'));
g=9.8;
dt=0.001;

n=1000000;

```

```

theta=str2num(get(edit3,'String'));
v0=str2num(get(edit4,'String'));
tho=theta*pi/180;
vxt(1,1)=v0*cos(tho);
vyt(1,1)=v0*sin(tho);
Vxt=vxt; Vyt=vyt;

xt(1)=str2num(get(edit1,'String'));
yt(1)=str2num(get(edit2,'String'));
Xt=xt; Yt=yt;

T_spin=get(top_spin,'Value');
B_spin=get(back_spin,'Value');
if p~=0 && T_spin==B_spin
    errordlg('Error!!! Pilihan Spin harus 1',' Error');
    break;
end

if T_spin~=B_spin
    ket=cell(2,1);
    if T_spin==1
        ket(1)={'Top Spin'};
    else
        ket(1)={'Back Spin'};
    end
    u=2;
end

if s1==1
    theta=str2num(get(edit12,'String'));
    o=num2str(o1);      s1=num2str(theta);
    s1=['Alpha1: ',s1];
    isl1=joinseq('Sudut Tembak ',o);
    RK;
    theta=str2num(get(edit13,'String'));
    o=num2str(o1);      s2=num2str(theta);
    s2=['Alpha2: ',s2];
    isl1=joinseq('Sudut Tembak ',o);
    RK;

    theta=str2num(get(edit14,'String'));
    if theta~=0
        o=num2str(o1);      s3=num2str(theta);
        s3=['Alpha3: ',s3];
        isl1=joinseq('Sudut Tembak ',o);
        RK;
    end
    theta=str2num(get(edit15,'String'));
    if theta~=0
        o=num2str(o1);      s4=num2str(theta);
        s4=['Alpha4: ',s4];
        isl1=joinseq('Sudut Tembak ',o);
        RK;
    end
    theta=str2num(get(edit16,'String'));
    if theta~=0
        o=num2str(o1);      s5=num2str(theta);
        s5=['Alpha5: ',s5];
        isl1=joinseq('Sudut Tembak ',o);
        RK;
    end
    title('Variasi Sudut Tembak');
elseif s2==1
    v0=str2num(get(edit12,'String'));
    o=num2str(o1);      s1=num2str(v0);

```



```

        s1=['v1: ',s1];
        is11=joinseq('Kecepatan ',o);
        RK;
        v0=str2num(get(edit13,'String'));
        o=num2str(o1);          s2=num2str(v0);
        s2=['v2: ',s2];
        is11=joinseq('Kecepatan ',o);
        RK;
        title('Variasi Kecepatan');
elseif s3==1
    m=str2num(get(edit12,'String'));
    o=num2str(o1);          s1=num2str(m);
    s1=['m1: ',s1];
    is11=joinseq('Massa Benda ',o);
    RK;
    m=str2num(get(edit13,'String'));
    o=num2str(o1);          s2=num2str(m);
    s2=['m2: ',s2];
    is11=joinseq('Massa Benda ',o);
    RK;
    title('Variasi Massa Benda');
elseif s4==1
    r=str2num(get(edit12,'String'));
    o=num2str(o1);          s1=num2str(r);
    s1=['r1: ',s1];
    is11=joinseq('Jari-jari ',o);
    RK;
    r=str2num(get(edit13,'String'));
    o=num2str(o1);          s2=num2str(r);
    s2=['r2: ',s2];
    is11=joinseq('Jari-jari ',o);
    RK;
    title('Variasi Jari-jari Benda');
elseif s5==1
    f=str2num(get(edit12,'String'));
    o=num2str(o1);          s1=num2str(f);
    s1=['f1: ',s1];
    is11=joinseq('Frekuensi Spin ',o);
    RK;
    f=str2num(get(edit13,'String'));
    o=num2str(o1);          s2=num2str(f);
    s2=['f2: ',s2];
    is11=joinseq('Frekuensi Spin ',o);
    RK;
    f=str2num(get(edit14,'String'));
    if f~=0
        o=num2str(o1);          s3=num2str(f);
        s3=['f3: ',s3];
        is11=joinseq('Frekuensi Spin ',o);
        RK;
        end
        title('Variasi Frekuensi Spin');
elseif s6==1
    xt(1)=str2num(get(edit12,'String'));
    yt(1)=str2num(get(edit13,'String'));
    Xt=xt;Yt=yt;
    o=num2str(o1);
    is11=joinseq('Posisi',o);
    s1=is11;
    RK;
    xt=str2num(get(edit14,'String'));
    yt=str2num(get(edit15,'String'));
    Xt=xt;Yt=yt;
    o=num2str(o1);
    is11=joinseq('Posisi',o);

```

```

s2=is11;
RK;
title('Variasi Posisi Awal');
else
RK;
u=1;
if B_spin==1
Xmaks=num2str(Xmaks); Ymaks=num2str(Ymaks);
tX=num2str(tX); tY=num2str(tY); re=num2str(Re);
h_k=num2str(h_k); h_m=num2str(h_m);
is11='Back Spin';
isre=joinseq('Bilangan Reynold = ',re);
isl2=joinseq('X maks = ',Xmaks);
isl3=joinseq('Y maks = ',Ymaks);
isl4=joinseq('Konstanta L = ',h_k);
isl5=joinseq('Konstanta M = ',h_m);
ket={is11,isre,isl4,isl5,isl2,isl3,''};
set(lstboxKet1,'string',ket);
plot(Xt,Yt,'.-b');
legend('Back Spin');
u=8;end
if T_spin==1
re=num2str(Re); h_k=num2str(h_k); h_m=num2str(h_m);
isl4=joinseq('Konstanta L = ',h_k);
isl5=joinseq('Konstanta M = ',h_m);
is11='Top Spin'; isre=joinseq('Bilangan Reynold = ',re);
isl2=joinseq('X maks = ',xmaks);
isl3=joinseq('Y maks = ',ymaks);
ket(u:u+5)={is11,isre,isl4,isl5,isl2,isl3};
set(lstboxKet1,'string',ket);

if u==8
plot(Xt,Yt,'.-b',xt,yt,'.-g');
legend('Back Spin','Top Spin')
else
plot(xt,yt,'.-g')
legend('Top Spin');
end

end

end
xlabel('Jarak');
ylabel('Ketinggian');
hold off

```