

# **PENGATURAN SUDUT AZIMUTH ROKET RUM UNTUK OPERASI PELUNCURAN PADA KECEPATAN ANGIN DI ATAS 10 KNOT (AZIMUTH ANGLE'S SETTING OF ROCKET RUM FOR LAUNCH OPERATION AT WIND SPEED MORE THAN 10 KNOT)**

**Heri Budi Wibowo<sup>1</sup>, Ahmad Riyadi, dan Yudha Agung Nugroho**  
Pusat Teknologi Roket  
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional  
Jl. Raya LAPAN No. 2, Mekarsari, Rumpin, Bogor 16350 Indonesia  
<sup>1</sup>e-mail: heribw@gmail.com

Diterima 14 Desember 2015; Direvisi 07 Juni 2016; Disetujui 29 Juni 2016

## **ABSTRACT**

RUM rocket is a rocket used in the payload competition among university students. The rocket is designed to bring a maximum payload of 1 kg to altitude of 600-1000 m and falls safely on a 500 m radius of the left and right rear of the center point of the launching pad of the conditions of wind speeds below 10 knots. In extreme circumstances where the wind speed is above 10 knots, the effect of speed and direction of wind to the stability of the rocket flight direction large enough to cause it to fall beyond the defined safety radius. The research aims to adjust azimuth setting of the rocket so that the fall of the rocket motor remains secure within the radius of the launch area. The study was conducted by testing a rocket RUM in extreme conditions (wind speed of 10-20 knots) with variations in shear-pin and azimuth angle. The test variables are the position of the fallen rocket motor. The results show that the wind direction and speed significantly affecting direction of rockets flight. The results show that rocket azimuth angle of 60 degrees with the direction of 90 degrees from the wind direction can make thea rocket falls on a secure area (within 500 m).

Keywords: *Rocket RUM, stability, Azimuth angle of attack, the wind speed*

## ABSTRAK

Roket RUM adalah roket untuk lomba muatan antar mahasiswa. Roket didisain membawa beban maksimum 1 kg dengan ketinggian 600-1000 m dan jatuh pada radius 500 m dari titik pusat peluncuran dengan kondisi kecepatan angin di bawah 10 knot. Dalam keadaan ekstrim dimana kecepatan angin di atas 10 knot, pengaruh kecepatan angin terhadap arah terbang roket menjadi besar sehingga dapat menyebabkan jatuhnya roket meleset di luar radius aman yang telah ditetapkan. Penelitian ini bertujuan mengatur sudut azimuth roket untuk mengatur jatuhnya motor roket sehingga tetap aman dalam radius area peluncuran. Penelitian dilakukan dengan melakukan pengujian roket RUM pada kondisi ekstrim (kecepatan angin 10-20 knot) dengan variasi penahan beban dan sudut azimuth. Hasil optimasi menunjukkan bahwa dengan menggunakan penahan beban dan pengaturan sudut azimuth roket 60 derajat dengan arah 90 derajat dari arah angin dapat membuat roket jatuh pada daerah aman peluncuran (500 m).

Kata kunci: Roket RUM, Kestabilan, Azimuth sudut serang, Kecepatan angin

### 1 PENDAHULUAN

Roket RUM dikembangkan untuk kompetisi muatan roket antar mahasiswa di Indonesia. Roket RUM didisain untuk mengangkut beban guna 1 kg dengan separasi muatan pada ketinggian 600-1000 m. Roket dirancang aman dan stabil, motor roket dan *payload* diberi parasut pengaman setelah separasi, dan apabila parasut gagal berfungsi maka roket akan tetap jatuh pada area aman. Area aman yang dimaksud adalah pada radius 500 m dari titik peluncuran (*launching pad*). Roket yang didisain memiliki kecepatan maksimum 60 m per detik tersebut stabil pada kondisi kecepatan maksimal 10 knot (5 m/det) (Riadhi, 2012; Wibowo dan Riyadl, 2015; Sunar, 2014).

Pada kecepatan angin di bawah 5 m/det, roket masih stabil, namun pada kecepatan angin di atas 5 m/det maka pengaruhnya cukup besar terhadap kestabilan dan arah roket. Arah angin yang cukup besar secara aerodinamis dapat mempengaruhi arah terbang roket, cenderung akan menuju sumber arah angin (Wibowo, 2012). Hal ini dapat membahayakan peserta karena dapat terjadi lintasan jatuhnya roket di luar daerah aman (dalam kondisi parasut tidak mengembang). Oleh karena itu, operasi peluncuran diusahakan roket diluncurkan pada kondisi aman, yaitu kecepatan angin kurang dari 5 m/det, diarahkan ke arah datangnya angin.

Dalam kenyataan, operasi peluncuran dibatasi oleh waktu peluncuran yang pendek (3 jam), harus dilakukan pada hari yang sudah ditetapkan, namun dimana kecepatan angin adalah di atas 5 m/det. Dalam kejadian ekstrim tersebut, terdapat pilihan ditundanya operasi peluncuran yang berakibat berhentinya lomba, atau diteruskan dengan modifikasi operasi peluncuran (Agung, 2014).

Berbasis teori aerodinamika penerbangan, terdapat hubungan kestabilan roket, kecepatan awal, dan gaya angin yang menerpanya. Dengan mengatur kecepatan awal roket maka kestabilan roket dapat dipertahankan. Untuk mengatur kecepatan awal roket yang sudah ditentukan, maka dapat dilakukan dengan memberikan beban penahan sehingga roket memiliki kecepatan awal yang dibutuhkan untuk meluncur. Berdasarkan kenyataan tersebut, maka kestabilan roket RUM pada kecepatan angin 5 m/s sampai 10 m/s dapat dikendalikan dengan mengatur beban penahan. Demikian pula arah terbang roket dipengaruhi oleh arah sudut serang dan gaya eksternal yaitu arah angin. Dengan memanfaatkan gaya-gaya yang bekerja pada roket, maka penentuan arah sudut serang roket dalam menghadapi arah angin yang ada dengan kecepatan yang tinggi dapat dikendalikan (Wibowo, 2015).

Penelitian ini bertujuan mengatur azimuth sudut terbang roket untuk

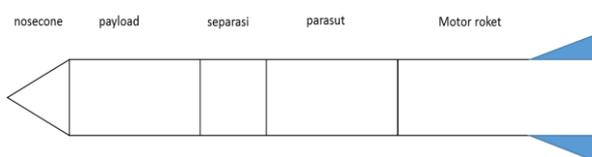
mengatur jatuhnya sisa motor roket sehingga tetap aman dalam radius area peluncuran. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah diperoleh kondisi optimum dari penentuan azimuth yang diperlukan apabila peluncuran dilakukan pada kondisi kecepatan angin di atas 5 m/det atau 10 knot.

**2 LANDASAN TEORI**

**2.1 Spesifikasi Roket RUM**

Roket RUM didisain memiliki diameter dalam 65 mm, diameter luar 70 mm, panjang roket 122 mm, dengan kompartemen ruang *payload* memiliki panjang minimal 20 cm dan berat maksimal 1,5 kg, seperti ditunjukkan pada Gambar 2-1. Berat total maksimum roket adalah 5 kg. Prestasi terbang diinginkan mencapai ketinggian 1000 m atau jangkauan maksimum 2000 m. Untuk mendapatkan disain roket yang diinginkan, maka daya dorong minimum yang diperlukan adalah 28 kgf. Roket RUM juga dilengkapi dengan 2 buah parasut untuk *recovery*, satu parasut berdiameter 1,5 m digunakan untuk *recovery* muatan roket dan satu parasut lagi dengan diameter 1,0 m digunakan untuk *recovery* motor roket. Biasanya roket RUM diluncurkan dari peluncur aluminium sepanjang 2 m dengan sudut elevasi antara 70° – 85°. RUM memiliki 4 sirip pada bagian pangkal roket. Percepatan roket saat meluncur adalah 7 G.

RUM secara umum terbagi dalam tiga bagian penting, yaitu motor roket, muatan/*payload*, dan sistem *recovery* seperti ditunjukkan pada Gambar 2-1. RUM mampu menghasilkan daya dorong rata-rata sebesar 30 kgf selama 3,5 detik pada tekanan 50 atm.

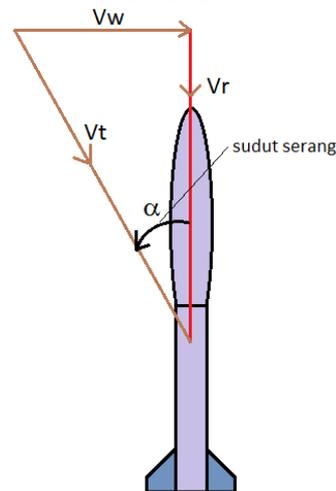


Gambar 2-1:Kompartemen Roket RUM (Wibowo dan Riyadl, 2015)

**2.2 Kestabilan Roket dan Pengaruh Angin**

Roket RUM adalah roket balistik yang didisain untuk terbang secara balistik tanpa panduan. Dengan kondisi atmosfer yang ideal, roket diharapkan terbang lurus tanpa adanya gangguan. Kondisi ideal seperti ini tentunya hal yang sulit dicapai.

Angin adalah faktor yang dapat mempengaruhi arah dan kestabilan roket (Zyluk, 2014). Arah dan kecepatan angin dapat berubah setiap saat, akibatnya meskipun roket diluncurkan dengan kondisi awal yang sama, roket dapat mengalami gangguan sehingga lintasan terbangnya juga akan berbeda.



Gambar 2-2:Vektor arah angin dan kecepatan roket

Sebuah roket memiliki margin kestabilan yang biasanya dinyatakan dalam diameter roket. Margin kestabilan ini adalah jarak antara pusat masa roket dengan pusat gaya pada roket pada kondisi sudut serang nol derajat. Pusat masa roket cenderung tidak berubah, sedangkan pusat gaya roket dapat berubah tergantung dari besarnya kecepatan dan besarnya sudut serang roket. Setiap roket memiliki batas maksimum besarnya sudut serang dimana jika melebihi batas maksimum tersebut maka roket akan terbang dengan tidak stabil. Dari Gambar 2-2, dapat dilihat bahwa besarnya sudut serang ditentukan dari besarnya sudut antara kecepatan resultan ( $V_t$ ) dengan

sumbu simetri roket. Kecepatan resultan adalah penjumlahan vektor dari kecepatan roket ( $V_r$ ) dan kecepatan angin ( $V_w$ ), (Griner, 1967).

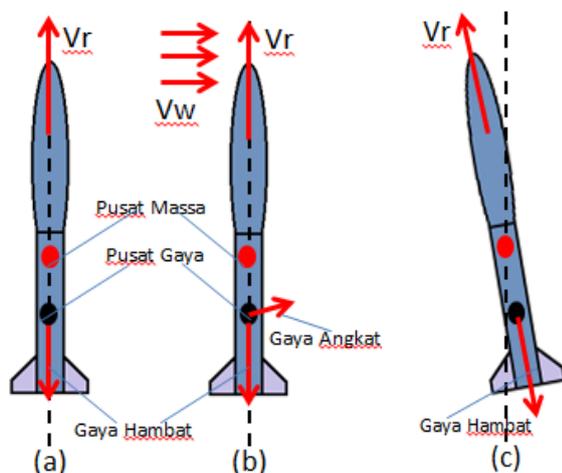
$$\vec{V}_t = \vec{V}_r + \vec{V}_w \quad (2-1)$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{V_r}{V_t}\right) \quad (2-2)$$

Dari persamaan (2-1) dan (2-2), maka untuk kecepatan roket yang tetap, bertambah besarnya kecepatan angin akan menyebabkan bertambah besarnya sudut serang roket yang akibatnya akan mengurangi nilai kestabilan roket.

### 2.3 Arah Terbang Roket dan Pengaruh Angin

Pada saat roket terbang, maka pada roket bekerja gaya dan momen aerodinamika. Gaya dan momen aerodinamika yang bekerja pada roket berbanding lurus dengan besarnya sudut serang yang terjadi pada roket (Sutton dan Blibarsz, 2011).



Gambar 2-3: Proses perubahan arah terbang roket akibat gangguan angin

Jika roket terbang dengan kondisi ideal dan lurus (sudut serang sama dengan nol) maka tidak terdapat momen aerodinamika dan gaya aerodinamika yang bekerja hanya gaya hambat. Ketika terdapat sudut serang (misalnya dalam kasus ini disebabkan adanya gangguan dari angin) maka selain gaya

hambat, akan terjadi juga gaya angkat dan momen *pitch* pada roket (Gambar 2-3). Pada Gambar 2-3 dapat dilihat proses perubahan arah terbang roket yang diakibatkan oleh gangguan angin.

Gambar 2-3a adalah kondisi dimana roket terbang lurus tanpa ada gangguan dari angin. Pada kondisi ini sudut serang roket  $\alpha$  besarnya nol dan gaya yang bekerja pada roket hanya gaya hambat. Pada Gambar 2-3b adalah kondisi dimana roket mengalami gangguan angin. Dengan adanya gangguan angin tersebut maka akan terdapat sudut serang yang akibatnya terjadi gaya angkat pada roket. Gaya angkat pada roket bekerja pada jarak tertentu dari pusat massa roket. Adanya jarak dari pusat massa dan titik gaya angkat roket menyebabkan terjadinya momen aerodinamika. Jika dilihat pada gambar di atas, maka momen aerodinamika tersebut akan cenderung membuat arah terbang roket menuju ke arah datangnya angin (Gambar 2-3c), atau jika dilihat pada Gambar 2-2, roket akan bergerak ke arah vektor resultan kecepatan roket.

### 3 METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan melakukan pengujian roket RUM pada kondisi kecepatan angin 10-20 knot dengan variasi penahan beban dan azimuth sudut serang. Variabel pengujian adalah jatuhnya motor roket dan stabilitas roket.

Roket yang digunakan adalah roket RUM. Pengujian terbang roket dilakukan di Lapangan Uji Roket Pameungpeuk, Garut, Jawa Barat.

Untuk menguji pengaruh angin terhadap kestabilan dan arah terbang roket, maka dilakukan serangkaian uji terbang roket RUM dengan beberapa kuat penahan beban (0-20 kg) dan arah azimuth peluncuran (-90 sampai +90 derajat) dari arah angin. Pada peluncuran roket kemudian diamati arah terbang

roket, kestabilan dan jatuhnya roket setelah separasi. Kestabilan roket diamati secara visual.

#### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

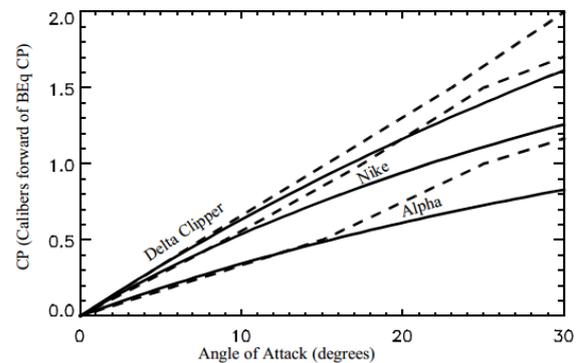
##### 4.1 Pengaruh Beban Penahan Terhadap Kestabilan Roket pada Berbagai Kecepatan Angin

Untuk mempelajari pengaruh beban penahan terhadap kestabilan roket, maka dilakukan pengujian terbang roket dengan variasi beban penahan dan kecepatan angin terhadap kestabilan roket. Kestabilan roket terbang diamati dengan visual dan dapat dihitung dengan perhitungan aerodinamik. Hasilnya ditampilkan pada Tabel 4-1, pada kondisi tanpa beban penahan dengan kecepatan angin 0 m/det, maka roket meluncur dengan stabil. Hal ini menunjukkan pengaruh eksternal tidak ada, dan memang roket didesain sangat stabil. Pada kecepatan angin 5 m/det, roket masih cukup stabil, artinya stabilitas roket belum terganggu dengan adanya faktor eksternal atau stabilitas masih cukup menahan pengaruh gaya yang ditimbulkan oleh angin (Agung, 2010). Pada kecepatan angin 10 m/det, ternyata roket tidak stabil, dimana roket meluncur dengan sedikit “tumbling”. Hal ini disebabkan oleh gaya yang ditimbulkan oleh angin menerpa roket sehingga faktor eksternal yang cukup besar tersebut mengakibatkan pengaruh terhadap arah terbang roket (Wibowo dan Riyadl, 2015). Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan angin yang tinggi memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap stabilitas roket.

Kecepatan awal roket adalah nol dengan percepatan awal 4G atau 40 m/det. Dengan kecepatan angin 10 m/det maka pengaruh gaya angin adalah  $\frac{1}{4}$  gaya dorong roket. Dengan demikian maka pengaruh tersebut cukup besar. Upaya menurunkan pengaruh kecepatan angin dapat dilakukan dengan menaikkan kecepatan awal dari roket sehingga dengan percepatan awal 4G, maka gaya total

roket di awal adalah meningkat sehingga pengaruh angin bisa diturunkan. Tumbling terjadi dan sangat besar pada saat gaya eksternal sekitar  $\frac{1}{4}$  dari gaya dorong roket. Hal ini berbeda dengan pada kecepatan angin 5 m/det sehingga pengaruh eksternal kecepatan angin adalah  $\frac{1}{8}$  dari gaya dorong roket.

Nilai kestabilan roket dipengaruhi oleh besarnya sudut serang yang terjadi pada roket. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4-1 yang dirujuk oleh Robert Galejis (2012).



Gambar 4-1: Posisi pusat gaya terhadap perubahan sudut serang

Dari gambar tersebut, terlihat bahwa pusat gaya roket bergerak ke depan (mendekati pusat massa) dengan bertambah besarnya sudut serang dimana besarnya sudut serang dipengaruhi besarnya kecepatan angin. Tergantung dari posisi pusat massa roket, maka terdapat nilai maksimum untuk sudut serang yang diperbolehkan.

Tabel 4-1 dapat menerangkan karakteristik tersebut. Untuk menaikkan kecepatan awal roket, maka roket diberi beban penahan sehingga roket akan bergerak setelah mengalami beban sesuai dengan yang ditentukan. Pada kondisi kecepatan angin 10 m/det, maka diberikan beban mulai dari 0,10, dan 20 kg. Beban tersebut setara dengan 0, 4G, dan 8G. Pada kondisi beban nol, maka terjadi tumbling cukup besar. Hasil simulasi menunjukkan bahwa besarnya kecepatan angin mampu memberikan simpangan gaya sebesar 10 derajat ke arah horisontal sehingga mengakibatkan tumbling yang

cukup signifikan. Kemudian pada penambahan beban penahan sebesar 10 kg, maka akan memberikan kestabilan yang lebih baik, namun masih kelihatan tumblingnya. Hal ini dimungkinkan karena dengan penambahan beban penahan 10 kg yang setara dengan 10 G, maka pengaruh angin menjadi sekitar 1/6 dari gaya total roket ke depan. Pada penambahan beban penahan sebesar 20 kg atau setara dengan 8G, maka pengaruh angin menjadi 1/8 dari gaya dorong roket. Hal ini menjadi sama dengan keadaan roket tanpa beban penahan pada kecepatan angin 5 m/det yang dianggap stabil. Berdasarkan kenyataan tersebut, maka dapat diambil kesimpulan bahwa dengan adanya beban penahan dapat menaikkan kestabilan penerbangan roket karena akan menaikkan kecepatan awal dan mereduksi pengaruh gaya yang ditimbulkan oleh angin. Mengacu pada kondisi dari batas stabilitas dengan kecepatan angin 5 m/det dimana faktor eksternal adalah 1/8 dari gaya total arah roket, maka penggunaan beban penahan dapat diekstrapolasi untuk kondisi dimana kecepatan angin cukup tinggi.

Tabel 4-1: PENGAMATAN STABILITAS ROKET PADA BERBAGAI BEBAN PENAHAN DAN KECEPATAN ANGIN

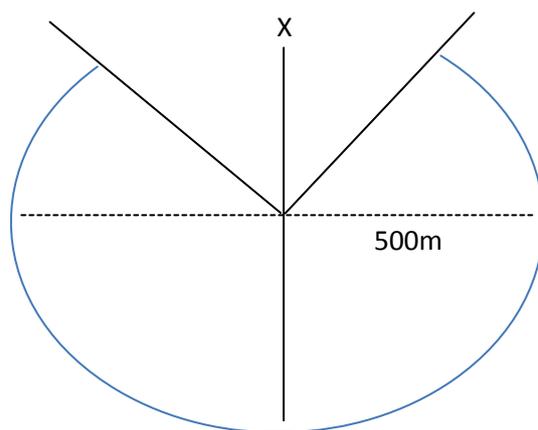
No.	Kec angin (m/det)	Beban penahan (kg)	stabilitas
1	0	0	Stabil
2	5	0	Stabil
3	10	0	Tumbling
4	10	10	Tumbling
5	10	20	Stabil

#### 4.2 Pengaruh Arah dan Kecepatan Angin Terhadap Arah Terbang Roket

Radius aman dalam suatu operasi peluncuran ditunjukkan pada Gambar 4-2, dalam gambar tersebut dapat

digambarkan bahwa arah sudut peluncuran adalah ke arah depan (X), dengan sudut 90 derajat, kemudian daerah belakang dan samping, masing-masing adalah 500 m diasumsikan sebagai daerah aman. Artinya pada saat roket meluncur dan parasut tidak bekerja, maka roket jatuh di daerah yang aman sebagai tempat jatuhnya roket. Roket diluncurkan pada arah depan (X), dengan harapan jatuh ke arah X. Apabila karena angin dan sebagainya, maka roket diharuskan jatuh di dalam area peluncuran yang ditentukan, yaitu pada jarak 500 m kiri, kanan, dan belakang dari titik peluncuran.

Untuk menentukan daerah jatuhnya roket apabila tanpa parasut maka dilakukan pengujian roket RUM dengan variasi kecepatan angin. Untuk arah angin, maka koordinat arah peluncuran (X) diukur perbedaan dengan arah angin bertiup. Pada pengujian, maka posisi daerah aman dibuat tetap, penentuan arah peluncuran roket (azimuth) digunakan sebagai variabel. Pengujian dilakukan dengan mengubah arah azimuth atau sudut serang dengan posisi arah angin adalah dua, yaitu arah sesuai dengan arah peluncuran X, dan pada arah 45 derajat dari posisi X.



Gambar 4-2: Daerah aman peluncuran roket.

Pengaruh arah dan kecepatan angin terhadap arah terbang roket dipelajari dengan melakukan pengujian terbang roket pada berbagai keadaan. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4-2.

Tabel 4-2: PENGAMATAN ARAH TERBANG ROKET PADA BERBAGAI ARAH DAN KECEPATAN ANGIN

No.	Kec angin (m/det)	Arah angin (derajat)	Sudut zimuth (derajat)	Arah jatuh roket
1	0	0	0	0
2	5	0	0	0
3	5	0	+45	0
4	5	+45	0	0
5	5	+45	+90	+60
6	10	0	0	+180
7	10	0	+45	0
8	10	+45	0	+180
9	10	+45	+90	+45

Menurut teori aerodinamik, apabila pengaruh angin cukup besar, maka arah terbang roket biasanya akan menuju arah angin datang (Lapan, 2010). Hasil pengujian bahwa pada saat kecepatan angin di bawah 5 m/det, maka arah terbang roket selalu sesuai dengan arah sudut serang roket, walaupun dengan simpangan yang relatif kecil. Hal ini dikarenakan pengaruh gaya dari angin relatif lebih kecil dibandingkan dengan pengaruh gaya dorong roket. Pada keadaan angin di atas 5 m/det, dalam penelitian ini digunakan kecepatan angin 5 m/det, ternyata memiliki perilaku yang berbeda. Pengaruh gaya dari angin cukup besar sehingga mampu membelokkan arah roket secara signifikan, gaya angin cukup besar dan berpengaruh terhadap gaya dorong roket. Perilaku tersebut menguatkan hasil pengamatan bahwa manuver roket RUM selalu menuju ke arah datang angin (Lapan, 2010). Untuk kecepatan angin di bawah 5 m/det, gaya yang tumbuh sudah ada namun masih relatif kecil dibandingkan dengan gaya dorong yang ditimbulkan oleh roket. Manuver angin relatif kecil sehingga memberikan penyimpangan arah terbang yang relatif kecil. Karena pengamatan dilakukan secara visual, maka penyimpangan pada orde 10 derajat

tidak dapat dilakukan. Namun secara umum dapat dilihat tidak lebih dari 15 derajat.

Profil arah roket dari Tabel 4-2 juga menarik diperhatikan bahwa arah roket akan berbelok sekitar 45 derajat ke kiri dari arah sudut serang roket sehingga searah dengan arah angin. Hal ini terjadi karena ketika terjadi gangguan angin maka akan terjadi gaya dan momen aerodinamika pada roket yang cenderung akan membuat roket kearah dari mana angin datang. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2-3 dan penjelasan pada sub bab 2.3.

#### 4.3 Optimasi Kondisi Peluncuran Ekstrim pada Kecepatan Angin di atas 10 m/det

Berdasarkan hasil pembahasan di awal, bahwa kecepatan angin memiliki pengaruh signifikan terhadap stabilitas terbang roket. Adanya beban penahan memiliki korelasi kuat terhadap stabilitas terbang roket melalui perubahan kecepatan awal terbang roket. Dengan menggunakan asumsi bahwa kestabilan dapat dipertahankan pada sekitar kecepatan angin harus di bawah 1/8 gaya dorong roket, maka untuk kecepatan angin 5 m/det sampai 10 m/det dapat digunakan beban penahan 20 kg, untuk kecepatan angin di atas 10 m/det sulit dilakukan penerbangan roket karena beban penahan terlalu besar dibandingkan dengan gaya dorong roket yang tidak bertambah.

Kecepatan dan arah angin memiliki pengaruh terhadap arah terbang roket RUM secara signifikan. Pada kecepatan angin di atas 5 m/det, maka arah terbang roket cenderung menuju arah sumber angin berasal. Pada pengujian dengan sudut serang yang berbeda, maka arah terbang roket akan berbelok ke kiri dari arah sudut serang roket sebesar 45 derajat.

Dengan dasar kenyataan tersebut, maka keadaan optimal kondisi peluncuran untuk roket RUM dengan kecepatan angin di atas 5 m/det dapat dilakukan

penurunan sudut serang roket pada 60 derajat, azimuth +45 derajat dari arah angin, dan pemberian beban penahan sebesar 20 kg, untuk menjamin arah roket sesuai dengan daerah aman yang ditetapkan.

## 5 KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa arah angin dan kecepatan angin berpengaruh signifikan terhadap arah terbang roket. Adanya penahan beban dapat merubah kecepatan awal roket sehingga dapat meningkatkan kestabilan terbang roket. Hasil optimasi menunjukkan bahwa pengaturan sudut azimuth roket 60 derajat dengan arah 90 derajat dari arah angin dapat membuat roket stabil dan jatuh pada daerah aman peluncuran (500 m).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih diucapkan kepada Kepala Pusat Teknologi Roket yang telah memberikan fasilitas dan biaya untuk tercapainya penelitian ini berlangsung. Terimakasih juga diucapkan kepada Saudara Agus Aribowo, Kepala Bidang Program dan Fasilitas, Pustekbang LAPAN atas ide dasarnya.

## DAFTAR RUJUKAN

- Galejs, Robert, 2012. *Wind Instability—What Barrowman Left Out*.
- Griner, Gary M., 1967. *Effect of Rocket Thrust-Time Curve on Wind Dispersion*.
- LAPAN, 2010. *Buku Pedoman Workshop Roket RUM*, LAPAN, Jakarta.
- LAPAN, 2015. *Buku Panduan Lomba Muatan Roket KOMURINDO Tahun 2015*, LAPAN, Jakarta.
- Riadhi, H.S., 2012. *Roket RUM Sebagai Sarana Pembelajaran Roket Pengorbit Satelit*, Prosiding Seminar Nasional JASAKIAI, Yogyakarta.
- Sutton, G.P. dan Biblarz, O., 2011. *Rocket Propulsion Elements*, 9<sup>th</sup> ed., John Wiley & Son, New York.
- Wibowo, H.B. dan Riyadl, A., 2015. *Analisis Kinerja Roket Rum untuk Peningkatan Keberhasilan Lomba Muatan Roket Antar Mahasiswa*, Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, No. 1, Vol. 2, Jakarta.
- Wibowo, H.B., 2012. *Efektifitas Kinerja Roket RUM*, Prosiding Seminar Nasional JASAKIAI, Yogyakarta.
- Wibowo, H.B., 2015. *Laporan Penelitian Pengembangan Roket RUM*, Laporan Teknis Pusat Teknologi Roket, LAPAN.
- Zyluk, Andrej, 2014. *Numerical Simulation Of The Effect Of The Wind On The Missile Motion*, Journal Of Theoretical And Applied Mechanics.