**Model 6 DOF USV**

*\*Disclaimer: Catatan berikut dibuat berdasarkan referensi Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control Second Edition by Thor I. Fossen dengan campuran dari model LSS-01 USV yang sebelumnya telah ada serta dari perhitungan dalam .*

# Centroid LSS-01

Hasil pengukuran massa USV LSS diperoleh nilai . Bentuk USV LSS-01 disederhanakan bentuknya sehingga terbentuk atas 4 Bagian, yaitu:

* Kotak
* Prisma segitiga yang tingginya sejajar sumbu z
* Prisma segitiga yang tingginya sejajar sumbu x
* Limas segitiga

Gambar USV yang telah disederhanakan dan diukur panjangnya masing-masing bagian adalah sebagai berikut:

A screenshot of a video game

AI-generated content may be incorrect.

A drawing of a white object with lines and numbers

AI-generated content may be incorrect.A screen shot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

A white rectangular object with orange lines

AI-generated content may be incorrect.

Dengan sumbu (axis XYZ) dalam gambar menunjukkan titik CO. Titik CO ditempatkan di sekitar titik Pixhawk karena pengukuran state dari USV dilakukan oleh Pixhawk dan perhitungan dinamika nantinya akan direpresentasikan terhadap titik tersebut.

Perhitungan CG akan dihitung terhadap CO (sehingga batas – batas integralnya terhadap titik CO) yang dinyatakan dengan . Di mana merupakan vektor. Arah vektor positif sumbu xyz ditunjukkan seperti pada sumbu dalam gambar.

Perhitungan untuk masing – masing bagian dilakukan dengan persamaan

Kemudian untuk menghitung centroid dari gabungan bagian – bagian tersebut dilakukan dengan persamaan

Dari proses perhitungan tersebut, diperoleh nilai dalam centimeter sebagai berikut:

Apabila dinyatakan dalam meter menjadi

# Matriks

Matriks merupakan matriks Inertia dari badan USV (Rigid Body). Perhitungan awalnya dilakukan pada titik . terhadap dinotasikan sebagai yang dinyatakan dengan matriks

Di mana merupakan **Inertia Dyadic** yang terdiri atas Moment of Inertia () dan Product of Inetia (). Inertia Dyadic dapat dituliskan sebagai matriks

Masing – masing Moment of Inertia dapat dituliskan sebagai

Masing – masing Product of Inertia dapat dituliskan sebagai

Pada kapal dengan sifat kesimetrisan Port-Starboard Symmetric (Simetris Sisi kiri dan kanan), maka matriks Inertia Dyadic tersebut akan berbentuk:

Perhitungan , dkk yang menggunakan integral digunakan untuk menghitung inersia untuk masing – masing bagian, sehingga untuk mentotalkan semua bagian dilakukan dengan

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Sehingga terbentuk matriks dengan nilai sebagai berikut:

Tetapi matriks tersebut harus ditransformasikan dari CG ke CO dengan menggunakan matriks transformasi dengan persamaan

merupakan skew-symmetric matrix terhadap vektor yang dapat dinyatakan dengan:

Transformasi dari ke titik CO menghasilkan yang dapat dihitung dengan persamaan:

Sehingga bisa diperoleh hasil

# Matriks

Perhitungan serupa dengan perhitungan yang dilakukan pada di mana akan dinyatakan terhadap titik CG terlebih dahulu kemudian ditransformasikan ke titik CO. yang dinyatakan dalam CG dapat dituliskan sebagai dengan persamaan sebagai berikut:

merupakan kecepatan vektor kecepatan angular . Kemudian untuk transformasinya dilakukan dengan cara yang sama dengan yang dilakukan pada , yaitu:

Untuk mempermudah penulisan, akan dibagi menjadi 4 bagian, yaitu:

Yang menarik adalah dan merupakan skew-symmetric matrix.

# Matriks dan

dan merupakan matriks inersia dan koriolis akibat added mass. dapat dinyatakan dengan persamaan:

Untuk masing – masing element tersebut, bisa dihitung berdasarkan persamaan dalam [1], sebagai berikut:

Di mana merupakan massa jenis air, dan merupakan panjang USV, dan merupakan volume air yang dipindahkan. Ketika USV berada di atas permukaan air, maka:

Sehingga diperoleh , sedangkan nilai elemen yang lain belum diketahui. Dari tersebut maka bsia ditentukan. Mula – mula harus dibagi menjadi 4 bagian, yaitu:

Kemudian, diperlukan kecepatan relatif dari USV. Kecepatan relatif merupakan kecepatan total USV yang telah dikurangi arus yang elemennya adalah:

Sehingga bisa dituliskan sebagai:

Maka hasil yang diperoleh adalah:

# Matriks dan

dan merupakan matriks total rigid body dan added mass dari Inertia dan koriolis. dan dapat dinyatakan dengan persamaan:

Maka diperoleh hasil:

# Perhitungan Hydrostatic USV

Pada Hydrostatic, ada beberapa hal yang perlu diperhitungkan, seperti Waterplane area yang nantinya digunakan untuk menghitung Second Moment of Area. Pada USV LSS-01 diasumsikan bahwa titik CO berada di Waterline, (Waterplane merupakan luasan dari waterline).

Dari bentuk yang telah dibuat sebelumnya, maka diperoleh waterplane yang terdiri atas persegi panjang dan segitiga sama kaki. Setelah dilakukan perhitungan diperoleh:

* Panjang kotak =
* Lebar kotak =
* Alas segitiga =
* Tinggi segitiga =

Dari nilai tersebut diperoleh luas waterplane area adalah . Dari waterplane yang diperoleh, dapat dicari nilai waterplane coefficient dengan persamaan:

Diperoleh nilai . Draft pada kapal merupakan jarak vertikal antara waterline ke bagian paling bawah kapal (Keel), dari desain yang dibuat, diperoleh jarak .

Kemudian dapat diperhitungkan nilai Second moment of Inertia arah tranversal dan longitudinal yang dituliskan sebagai dan . dihitung dengan menggunakan Munro-Smith Formula yaitu:

Serta untuk haruslah memenuhi . Sehingga dipilih nilai yang serupa dalam kode Otter:

Kemudian untuk mendapatkan nilai dan dilakukan dengan langkah perhitungan berikut:

* Perhitungan Keel to Bouyancy KB
* Perhitungan dan
* Perhitungan
* Perhitungan dan

Hasil perhitungan dan tersebut digunakan untuk membentuk matriks yang merupakan matriks gravitasional terhadap CF. Perhitungan , , dan

Kemudian bisa diperoleh menjadi

Karena titik CF tidak berada di CO, sehingga harus ditransformasikan agar matriks gravitasionalnya dinyatakan terhadap CO. Mirip dengan cara yang dilakukan terhadap matriks , tetapi perbedannya adalah harus ditentukan lebih dahulu titik CFnya.

Titik CF biasanya merupakan centroid dari waterplane. Umumnya letak CF dan CO hanya berbeda di sumbu longitudinalnya sehingga disebut sebagai LCF. Di mana dapat dihitung dengan

Diperoleh nilai LCF yaitu sehingga . Kemudian untuk transformasi yang dilakukan yaitu:

Maka diperoleh hasil

# Damping

Model damping linear digunakan matriks diagonal untuk memudahkan model, dengan bentuk sebagai berikut:

Untuk damping nonlinearnya direpresentasikan dengan menggunakan Crossflow drag seperti yang ditunjukkan dalam Kode Otter.

# **Referensi**

[1] H. Soeding, “Prediction of ship steering capabilities,” *Schiffstechnik*, vol. 29, no. 1, pp. 3–29, 1982.