

ANALISIS KINEMATIK MANUEVER TERBANG VERTIKAL PADA KOMPONEN *SWASH PLATE*, *ROTOR HEAD* DAN *ROTOR BLADES* HELIKOPTER SEJENIS NBO - 105 MENGGUNAKAN CATIA V5R16

T. Arriessa Sukhairi *

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala Banda Aceh

Djarot Wahyu Santoso

Adithya Febrinaldy Rizky Putra

Program Studi Teknik Dirgantara, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto

Jagodang Harahap

Program Studi Teknik Pengelasan, Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat

Abstract

Helicopters have a unique advantage over airplanes in that they can adjust the direction of their blades to generate lift in any direction, allowing them to perform vertical takeoffs and landings and hover in one spot. This capability makes them highly valuable for a variety of operations, including transportation. A crucial component in the helicopter control system is the swash plate, which allows for adjustments to the angle of the rotor blades to achieve specific maneuvers. To manufacture and model components such as the swash plate, rotor head, and rotor blades, CATIA V5R16 software can be used. This involves modeling the individual parts in the workbench part design, assembling them in the workbench assembly design, or conducting kinematic analysis using the DMU Kinematics workbench to obtain values for linear velocity, angular velocity, linear acceleration, and angular acceleration. When compared to manual calculations, the differences between the results produced by the CATIA V5R16 software and theoretical calculations are negligible. Therefore, it can be concluded that CATIA V5R16 software is highly capable and suitable for conducting kinematic analysis of three-dimensional components.

Keywords:

Kinematic Analysis; Helicopters; Swash Plates; Rotor Blades; CATIA V5R16

Abstrak

Helikopter memiliki keuntungan unik dibandingkan pesawat terbang karena dapat menyesuaikan arah bilah mereka untuk menghasilkan daya angkat dalam arah apa pun, memungkinkan mereka melakukan lepas landas dan mendarat secara vertikal dan melayang di satu tempat. Kemampuan ini membuat helikopter sangat berharga untuk berbagai operasi, termasuk transportasi. Komponen penting dalam sistem kontrol helikopter adalah piringan geser, yang memungkinkan penyesuaian sudut bilah rotor untuk mencapai manuver tertentu. Untuk memodelkan komponen seperti *swash plate*, *rotor head*, dan *rotor blades*, dapat menggunakan perangkat lunak CATIA V5R16. Ini melibatkan pemodelan bagian-bagian individu dalam *workbench part design*, merakitnya dalam desain perakitan *workbench assembly*, dan melakukan analisis kinematik menggunakan *workbench DMU kinematics* untuk memperoleh nilai kecepatan linear, kecepatan sudut, percepatan linear, dan percepatan sudut. Bila dibandingkan dengan perhitungan manual, perbedaan antara hasil yang dihasilkan oleh perangkat lunak CATIA V5R16 dan perhitungan teoritis sangat kecil. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa perangkat lunak CATIA V5R16 sangat mampu dan cocok untuk melakukan analisis kinematik komponen tiga dimensi.

Kata Kunci:

Analisa Kinematik; Helikopter; Swash Plates; Rotor Blades; CATIA V5R16

DOI: [10.38038/vocatech.v4i2.114](https://doi.org/10.38038/vocatech.v4i2.114)

Received: 20 Februari 2023 ; Accepted: 14 April 2023 ; Published: 26 April 2023

*Corresponding author:

Citation in APA Style: Sukhairi, T. A., Santoso, D. W., Putra, A. F. R., Harahap, J. (2023). Analisis Kinematik Manuver Terbang Vertikal pada Komponen Swash Plate, Rotor Head dan Rotor Blades Helikopter Sejenis NBO - 105 Menggunakan Catia V5R16. *VOCATECH : Vocational Education and Technology Journal*, 4, 2 (2023), 85-100

T. Arriessa Sukhairi, Djarot Wahyu Santoso, Adithya Analisis Kinematik Manuver...
Febrinaldy Rizky Putra, Jagodang Harahap

T. Arriessa Sukhairi, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik. Universitas Syiah Kuala Banda Aceh, Jl
Syekh Abdurauf As Sinkili, Banda Aceh
Email: teuku.arriessa@unsyiah.ac.id

I. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah berdampak signifikan pada semua sektor industri, termasuk industri penerbangan yang mengalami perubahan pada desain, manufaktur, pemeliharaan, dan fasilitas pendukung pesawat. Teknologi yang diterapkan dalam penerbangan tidak hanya berkaitan dengan efektivitas dan efisiensi kegiatan industri, tetapi juga harus mematuhi standar keselamatan penerbangan yang lebih baik. Pesawat dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu pesawat sayap tetap (*fixed wing*) dan pesawat sayap putar (*rotary wing*) ([Poerwanto, Tarigan, Simanjuntak, & Sodikin, 2017](#)) ([Saroinsong, Poekoel, & Manembu, 2018](#)).

Setiap pesawat dirancang dan dibuat sesuai dengan penggunaannya dan fungsinya. Keunggulan pesawat sayap putar, yang juga dikenal sebagai helikopter, memiliki fitur dan kemampuan unik yang tidak dimiliki oleh pesawat lain. Jenis helikopter dibuat berdasarkan misinya, penggunaannya, dan operasinya, seperti helikopter NBO-105 yang dapat digunakan sebagai transportasi dan untuk penerbangan penyelamatan, yang dapat mendarat di tempat-tempat yang sulit dijangkau dengan pesawat sayap tetap ([Kusmarwanto kara, 2008](#)). Rotor helikopter adalah satu-satunya cara untuk menghasilkan gaya angkat serta menggerakkannya ke arah yang diinginkan. Dengan mengubah posisi rotor melalui mekanisme *swash plate* menggunakan *cyclic control* dan *collective control*, faktor *thrust* dapat diubah arahnya untuk menghasilkan gaya angkat dan gaya yang diperlukan untuk menggerakkan helikopter ([Fendi & Djamari, 2014](#)) ([Pramana & Bakar, 2020](#)).

Sementara itu, beban daya dalam bentuk *profile power* akan mencoba memutar seluruh bagian helikopter ke arah yang berlawanan dengan putaran rotor ([Iriandi & Djamari, 2016](#)). Untuk mengatasi ini, helikopter juga dilengkapi dengan rotor ekor yang juga berputar berlawanan karena gaya penggerak yang ditransmisikan padanya, agar menghasilkan gaya mendarat dan momen kontrol untuk menyeimbangkan momen di atas ([Gudmundsson, 2013](#)). Besarnya gaya yang harus dihasilkan oleh rotor ekor sangat tergantung pada momen dari rotor utama. Seperti halnya pada rotor utama, cara rotor ekor menghasilkan gaya adalah dengan memberikan sudut *pitch* yang cukup dan jarak dari pusat rotor utama ([Nawawi & Jack Zakaria, 1999](#)).

Artikel ini hanya membahas analisis kinematik dari helikopter sejenis NBO-105, yang hanya mencakup manuver terbang vertikal pada model helikopter sejenis NBO-105, yang dimodelkan dan disimulasikan menggunakan perangkat lunak CATIA V5R16 ([Chen, Zhang, Gong, Song, & Su, 2009](#)). Dimana Swash plate adalah salah satu komponen penting pada helikopter untuk mengendalikan dan mengubah sudut bilah rotor. Perubahan sudut bilah akan mempengaruhi tekanan pada bilah, yang pada akhirnya akan menghasilkan gaya yang akan bekerja pada helikopter ([Febrianto & Santoso, 2017](#)).

Lalu analisis kinematik dan proses desain dari sistem yang bekerja pada helikopter sejenis NBO-105 dilakukan menggunakan perangkat lunak CATIA V5R16. CATIA V5R16 adalah program perangkat lunak komputer yang terintegrasi untuk pemodelan (3D atau 2D), modifikasi, analisis, atau optimasi desain. Dengan demikian, analisa gerakan kinematik dari suatu sistem dan kinerja setiap komponennya dapat ditemukan ([Gündüz, Khalid, & Schrage, 2007](#)). Komponen yang akan dimodelkan adalah *swash plate*, *rotor head*, dan *rotor blade*, kemudian simulasi gerakan dilakukan sesuai dengan gerakan sebenarnya yang mengacu pada helikopter sejenis NBO-105.

Dari simulasi yang telah dilakukan, dapat diamati gerakan yang terjadi dalam sistem dan bagaimana cara kerjanya. Selain itu, hasil analisis kinematik yang telah dilakukan menggunakan perangkat lunak CATIA V5R16 akan dibandingkan dengan analisis teoritis. Perubahan dalam efek perubahan sudut bilah yang terjadi dari waktu ke waktu juga akan dibahas dalam penelitian ini. Simulasi dan analisis yang dilakukan adalah pada komponen swash plate, rotor head, dan rotor blade dengan fokus hanya pada kinerja gerakan vertikal helikopter sejenis NBO-105 dalam 3 bagian analisis yaitu analisis forklink, analisis rotation dan analisis translation.

II. STUDI PUSTAKA

Helikopter NBO-105 berasal dari negara Jerman yang diproduksi oleh Eurocopter (MBB/Messerschmitt-Boelkow-Bholm). Helikopter ini merupakan helikopter ringan pertama yang menggunakan

2 (dua) buah engine. Helikopter NBO-105 terbang pertama kali pada tahun 1975, dengan kelebihan kapabilitas manuver yang lebih tinggi (high maneuverability). Helikopter ini memiliki beberapa kegunaan yaitu sebagai misi angkut penumpang, EMS (Emergency Medical Service), SAR (Search And Rescue), bahkan sebagai sarana polisi dan militer. PT. Dirgantara Indonesia merupakan salah satu pemegang lisensi manufaktur helikopter ini.

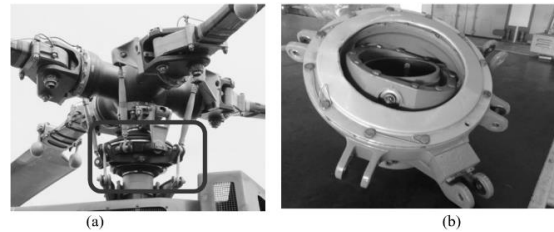


Gambar 1. Helikopter sejenis NBO-105 (Systems, n.d.)

Adapun spesifikasi dari helikopter sejenis NBO 105 sebagai berikut:

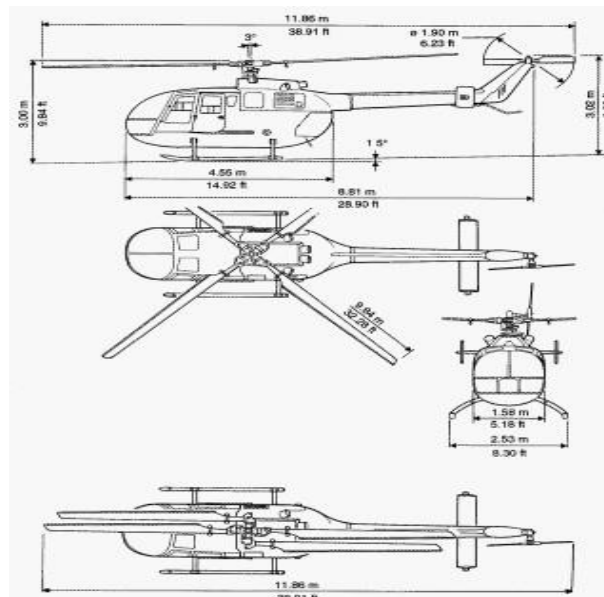
Konfigurasi	:	Transport, EMS, SAR, police, military
Tahun pembuatan	:	1970
Negara Asal	:	Jerman
Dimensi		
Panjang keseluruhan	:	38,91 ft (11,86 m)
Diameter rotor	:	32 ft (9,84 m)
Tinggi keseluruhan	:	9 ft 10,9 in (3,02 m)
Tinggi rotor horizontal	:	9 ft 10 in (3,00 m)
Lebar fuselage	:	5,18 ft (1,58 m)
Lebar (dengan track L/G)	:	8,30 ft (2,53 m)
Berat	:	
Max loaded	:	5511,56 lbs (2.500 kg)
Empty	:	3044,58 lbs (1381 kg)
Performa		
Max. speed	:	230 knot
Max. cruising speed	:	213 knot
Cruising speed (Recommended)	:	204 knot
Stall speed	:	83 knot
Long Range cruise	:	164 knot
Initial climb	:	1.450 ft/menit
Range(economic cruise)	:	1.273 nm
Wing Loading	:	32,2 lbs/ft ²
Kapasitas	:	2 pilot dengan 4 penumpang
Main Rotor		
Jumlah blades	:	4 buah
Arah putaran	:	Berlawanan jarum jam (counter clockwise)
Rotor speed	:	424 RPM
Diameter	:	9.84 m (32 ft 3½ in)
Tail Rotor		
Jumlah blades	:	2 buah
Diameter	:	6,23 ft (1,9 m)

Dimana komponen yang diteliti adalah pergerakan komponen *swash plate*, *rotor head* dan *rotor blade* pada helikopter sejenis NBO-105 yang ditunjukkan pada gambar 2 (a) dan (b).



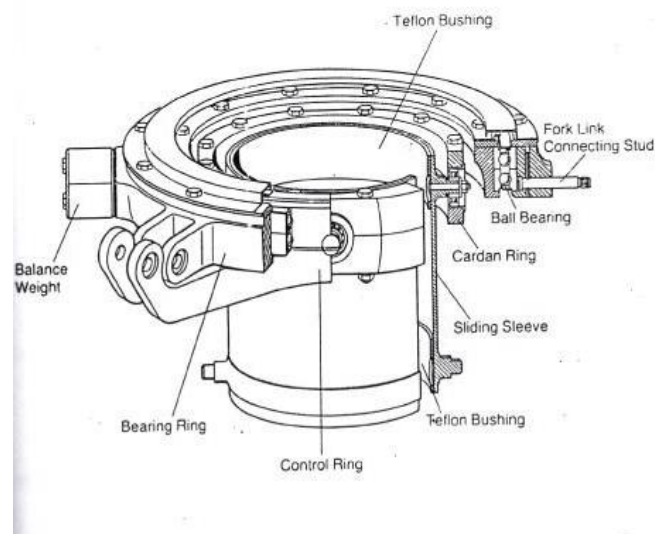
Gambar 2. Komponen *Swash Plate* dan letaknya di helikopter NBO-105

Adapun, ukuran dimensi daripada helikopter sejenis NBO-105 dapat dilihat dengan seksama seperti ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Dimensi helikopter sejenis NBO-105

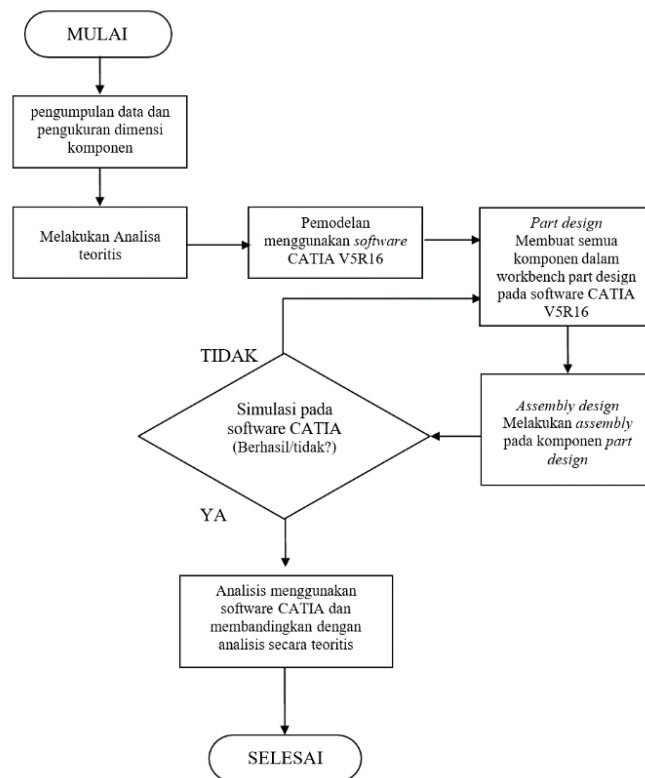
Penggunaan mekanisme *swash plate* mengatur besarnya perubahan sudut *pitch* dengan *collective control* dan arah *thrust* dengan *cyclic control*, dimana sudut *pitch* dari *rotor blade* berhubungan dengan jumlah produksi *thrust* yang terjadi dan memberikan kemungkinan mengubah arah vektor *thrust* yang berhubungan dengan fase terbang (Lyu & Xu, 2015). Mekanisme *swash plate* ini merupakan bagian yang paling penting dalam mengatur besaran *thrust* dan vektor arahnya sesuai dengan gerakan yang dilakukan. Adapun komponen penyusun *swash plate* pada pesawat sejenis NBO – 105 dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 3. Swash Plate pada helokopter sejenis NBO-105 (NBO 105, 1976)

III. METODE

Adapun alur penelitian yang dilakukan sesuai dengan urutan diagram alir berikut ini :



Gambar 4. Diagram alir kajian teknis analisis kinematik swash plate helikopter sejenis NBO-105

Dalam melakukan analisa kinematik daripada komponen – komponen tersebut, maka dilakukan pengumpulan data dan pengukuran dimensi dari objek komponen yang diteliti serta komponen lain yang berkaitan. Data - data yang digunakan diantaranya adalah spesifikasi helikopter sejenis NBO-105, spesifikasi utama *rotor blade* dan spesifikasi *swash plate*. Setelah mendapatkan ukuran dimensi komponen tersebut kemudian dilakukan proses penggambaran model 3 dimensi menggunakan software CATIA V5R16.

Proses – proses yang dilalui untuk menggambarkan model didalam aplikasi CATIA V5R16 antara lain menggambarkan part 3D semua komponen yang telah di ukur pada *workbench part design*. Kemudian melakukan proses *assembly* dari komponen *part design* yang telah dibuat menggunakan *workbench Assembly Design*. Setelah melakukan *assembly*, kemudian disimulasikan pergerakan yang akan dianalisa (Santoso, 2019). Pada proses simulasi jika menemui kendala gagal dalam melakukan *running simulation* maka harus kembali ke tahap pembuatan komponen untuk memastikan ukuran komponen tersebut sesuai antara satu dan yang lainnya.

Hal yang harus diperhatikan sebelum menganalisa pergerakan kinematiknya yaitu, posisi titik-titik acuan yang akan mewakili bagian-bagian yang akan di analisa harus ditentukan terlebih dahulu. Setelah itu baru analisa kinematik dapat di jalankan di dalam CATIA V5R16 (Yadav & Singh, 2018). Lalu hasil perhitungan numerik/simulasi akan dibandingkan dengan hasil analisa teoritis yang telah dilakukan. Hasil daripada analisa yang telah didapatkan di validasikan kembali dengan hasil analisa yang dilakukan secara analitik dengan menggunakan analisis galat mutlak, analisis galat realtif dan analisis galat relatif hampiran yang dituliskan dengan persamaan (1), (2), dan (3) secara berurutan.

$$\varepsilon = |a - \hat{a}| \quad (1)$$

$$\varepsilon_R = \frac{\varepsilon}{a} \times 100\% \quad (2)$$

$$\varepsilon_{RA} = \frac{\varepsilon}{\hat{a}} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana galat (ε) adalah merupakan perbedaan antara hasil perhitungan numerik (solusi hampiran = \hat{a}) dengan perhitungan analitik (solusi eksak = a) .

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mekanisme analisa kinematik dari model *swash plate*, *rotor head* dan *rotor blade* yang dilakukan secara manual disederhanakan dari gambar model 3-D yang telah dibuat kemudian di gambarkan menjadi 2-D, dan pada akhirnya gambar tersebut diproyeksikan menjadi 1-D sehingga akan tampak seperti batang-batang yang saling berhubungan satu dengan yang lainnya atau membentuk diagram poligon/kinematis. Setelah itu menentukan dimensi masing-masing batang terutama ukuran dari point sample ke pusat link-nya kemudian menentukan sudut-sudutnya.

Hal-hal pokok yang dianalisis adalah kecepatan linier (*Linier speed*), kecepatan sudut (*Angular speed*), percepatan linier (*Linier acceleration*) dan percepatan sudut (*Angular acceleration*) yang akan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada software CATIA V5R16. Analisa dilakukan pada sampel waktu $t = 3$ s dan $t = 6$ s.

Analisis dilakukan dalam 3 (tiga) bagian yaitu analisis forklink, analisis translation dan analisis rotation. Adapun data – data dimensi komponen pada diagram kinematis yang digunakan untuk melakukan analisa tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Data – data dimensi komponen pada diagram kinematis

No.	Analisis	Joint/Point	Dimensi dalam skala 1:7 (mm)	Dimensi aktual (mm)
1.	Analisis Forklink	O – A	32.1818	225.273
		O – B	18.3437	128.406
		B – C	81.382	569.676
2.	Analisis Translation	O – A	18.347	128.406
		O – B	35.178	246.25
		B – C	24.255	169.788
		C – D	37.638	263.471
		D – E	16.22	113.55
3.	Analisis Rotation	O - A	6.785	47.5
		O – B	28.143	197.006
		B – C	77.66	543.65
		C – D	38.167	267.174

Pada bagian awal analisis nilai input omega (ω) dikalkulasikan dengan menggunakan persamaan berikut ini (Martin, 1984):

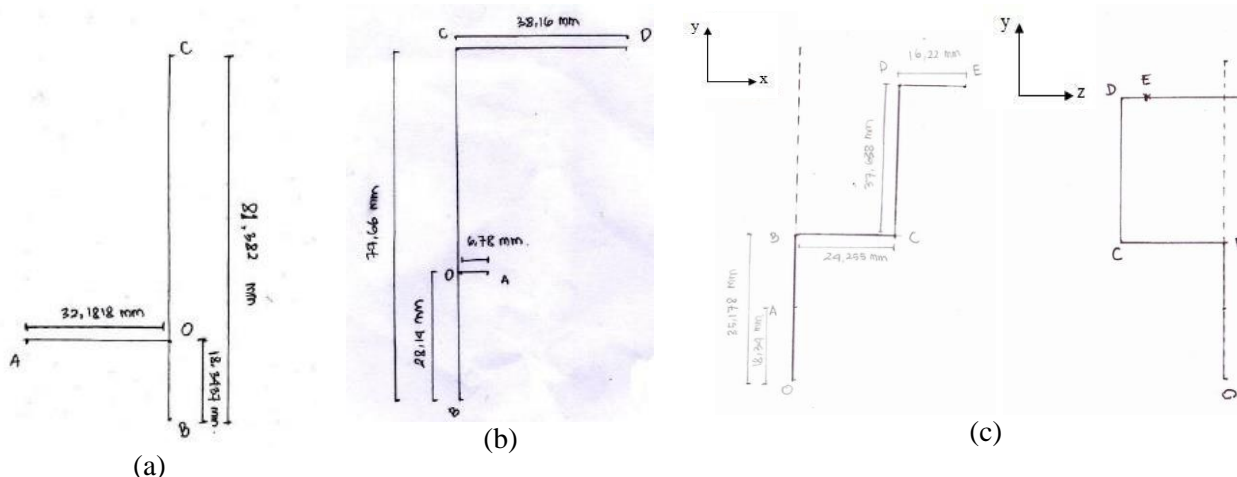
$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (4)$$

Dimana, ω adalah kecepatan sudut, $d\theta$ adalah perubahan lintasan sudut sesaat dan dt adalah selang waktu. Untuk analisa *forklink* nilai omega (ω) yang menjadi masukan diberikan pada komponen *forklink* pada saat selang waktu 6 s dengan perubahan lintasan sudut 8 deg adalah sebesar 0.023259 rad/s. Dimana nilai tersebut menjadi masukan ω pada komponen *forklink* itu sendiri karena komponen yang dianalisis ini berhubungan langsung dengan komponen yang tetap (*fix Part*) yang digambarkan di dalam *software*.

Sedangkan untuk analisa *rotation* nilai omega yang dimasukkan adalah sebesar 44.3816 rad/s dengan lintasan sudut 360 deg dan selang waktu 0.1415 s. Nilai tersebut diberikan pada komponen *bearing* karena

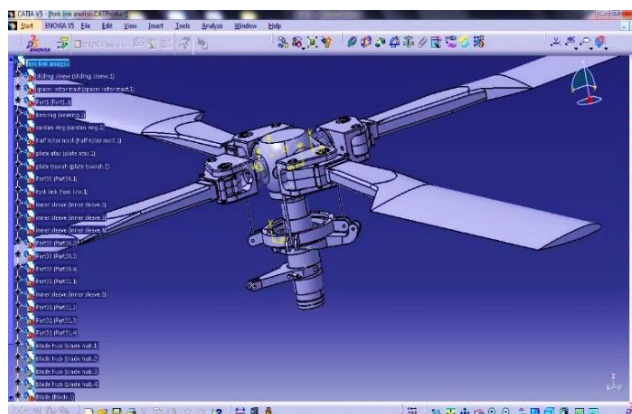
komponen ini yang bergerak/berputar dan berhubungan langsung dengan komponen yang tetap yang telah dimodelkan.

Untuk nilai kecepatan sudut pada analisis *translation* tidak ada karena pergerakan pada analisis ini diasumsikan linier maka hanya kecepatan linier saja yang dicari dengan menggunakan masukan yang diberikan pada komponen *sliding sleeve* karena komponen ini yang akan bergerak dan berhubungan langsung dengan *fix part* pada model komponen yang telah dibuat, dimana kecepatan liniernya adalah sebesar 0.005333 m/s.



Gambar 5. Diagram kinematik kecepatan dan percepatan untuk analisis (a) forklank, (b) rotation, (c) translation pada saat $t = 0$ s (skala 1:7)

Sebelum dilakukan proses simulasi menggunakan Software CATIA V5R16 maka dilakukan proses analisa kinematik secara analitik. Untuk melakukan proses tersebut dibutuhkan gambar diagram kinematik kecepatan dan percepatan untuk 3 (tiga) tipe analisis yang akan dilakukan. Kontruksi pada gambar diagram tersebut menggunakan data – data dimensi komponen dengan skala 1:7 yang telah disampaikan pada Tabel 1. Adapun untuk gambar diagram poligon kinematik akan berbeda dari setiap perbedaan waktu yang ada. Gambar 5 menunjukkan diagram kinematik hanya pada $t = 0$ untuk analisa (a) *forklink*, (b) *rotation*, dan (c) *translation*. Lalu nilai – nilai kecepatan linier (*Linier speed*), kecepatan sudut (*Angular speed*), percepatan linier (*Linier acceleration*) dan percepatan sudut (*Angular acceleration*) pada $t = 3$ s dan $t = 6$ s akan dihitung dan dianalisa dengan hasil perhitungan secara numerik.



Gambar 1. Model *assembly* dari komponen *rotor head*, *rotor blades* dan *swash plate*

Setelah melakukan kajian analitis maka desain *swash plate*, *rotor head* dan *rotor blade* dimodelkan dengan menggunakan modul *Part Design*, lalu selanjutnya digabungkan satu sama lainnya dengan menggunakan modul *Assembly Design*. Gambar 6 menampilkan bentuk model yang akan diuji didalam aplikasi CATIA V5R16. Proses analisa dan simulasi kinematik akan dilakukan dengan menggunakan

Digital Mock Up kinematics Simulator yang dirancang untuk mensimulasikan gerakan kinematik dari suatu produk atau komponen yang telah dibuat dan di gabungkan.

Untuk analisis *forklink*, diambil 1 titik dengan 2 *time sample*. Sedangkan untuk analisis *translation*, diambil 4 titik yang berbeda dengan 2 *time sample*. Dan untuk analisis *rotation*, 2 titik yang berbeda dipilih dengan 2 *time sample*. Adapun *time sample* yang digunakan adalah $t = 3$ s dan $t = 6$ s. Sedangkan *input command* yang diberikan untuk menggerakkan mekanisme tersebut pada gerakan *pull up* untuk analisis *forklink* adalah 8 deg per 6 s, untuk analisis *translation* adalah 32 mm per 6 s dan untuk analisis *rotation* adalah 360 deg per 0.1415 s.

Dalam melakukan simulasi kinematik pada pada komponen *rotor head*, *rotor blade* dan *swash plate* pada helikopter sejenis NBO – 105 diberikan nilai perputaran *rotor head* sebesar 360 deg atau melewati satu putaran penuh, dengan nilai batasan bawahnya = 0 deg dan batasan atasnya = 360 deg. Lalu nilai pergerakan *forklink* pada saat *pull up* diberikan sebesar 8 deg, dengan nilai batasan bawahnya = 0 deg dan batasan atasnya = 8 deg. Asumsi pergerakan lainnya yang dimasukkan adalah *sliding sleeve* yang tidak berputar, maka nilai batasan bawah dan atasnya adalah 0 dan 360 deg dan *sliding sleeve* yang bergerak secara translasi pada arah ke bawah sebesar 32 mm, sehingga nilai batasan bawahnya adalah -32 mm dan batasan atasnya = 0 mm.

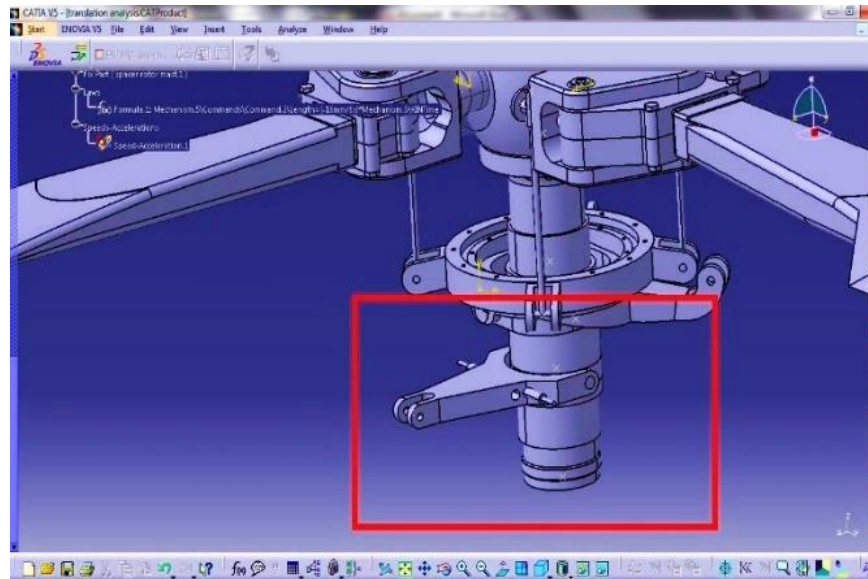
Ada dua cara melakukan simulasi kinematik yang dapat dilakukan dengan menggunakan DMU Kinematics, yaitu secara otomatis (automatic insert) dan secara manual. Pada artikel ini metode simulasi yang digunakan adalah dengan cara manual sehingga pergerakan dari tiap komponen dapat dimodelkan dengan lebih lembut (smooth) dibandingkan dengan cara otomatis. Dimana nilai peningkatan atau *increments* akan ditentukan pada tiap – tiap simulasi.

Nilai *increments* masukan dari simulasi perputaran *rotor head* dimasukkan sebesar 30 yang menunjukkan bahwa gerakan simulasi ini akan dilangsungkan setiap kelipatan 30 sampai mencapai nilai 360 deg. Untuk analisa translasi nilai peningkatan yang dimasukkan adalah 4 yang menunjukkan bahwa gerakan simulasi ini akan dilangsungkan setiap kelipatan 4 sampai mencapai nilai 32 mm. dan yang terakhir adalah nilai peningkatan untuk analisa pergerakan *forklink* dengan memasukan angka 1 yang menunjukkan bahwa gerakan simulasi ini akan dilangsungkan setiap kelipatan 1 hingga mencapai nilai 8 mm.

Setelah semua mode gerakan di atur dan simulasi berhasil dijalankan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan proses analisa kinematik.

A. Analisa Forklink

Analisa *forklink* dilakukan pada komponen yang lokasinya ditunjukkan pada model yang dapat dilihat pada Gambar 7. Pada analisis ini titik sensor diletakkan pada bagian ujung *forklink* dimana part *space rotor mast* menjadi bagian komponen yang tidak bergerak (*fixed*). Pergerakan pada *forklink* akan menggerakkan *sliding sleeve* yang pada akhirnya akan merubah posisi dari *rotor blade* untuk menghasilkan gaya angkat (*lift*).



Gambar 2. letak daripada bagian model pada analisa forklink.

Simulasi dijalankan dalam jangkauan waktu sampel $t = 3$ s dan $t = 6$ s, dimana hasil analisa kinematik berupa nilai – nilai seperti Kecepatan Linier, Percepatan Linier, Kecepatan Sudut dan Percepatan Sudut diambil pada titik yang telah diatur menjadi sensor untuk mengeluarkan. Adapun hasil analisa yang dikeluarkan dapat dilihat pada gambar 8.

Sensors		
Selection	Instantaneous Values	History
Sensor	Value	Unit
'Speed-Acceleration.1\LinearSpeed'	0,00524234	Meter p...
'Speed-Acceleration.1\Linear Acceleration'	0,000121995	Meter p...
'Speed-Acceleration.1\Angular Speed'	0,222222	Turn per...
'Speed-Acceleration.1\Angular Acceleration'	0	Radian p...

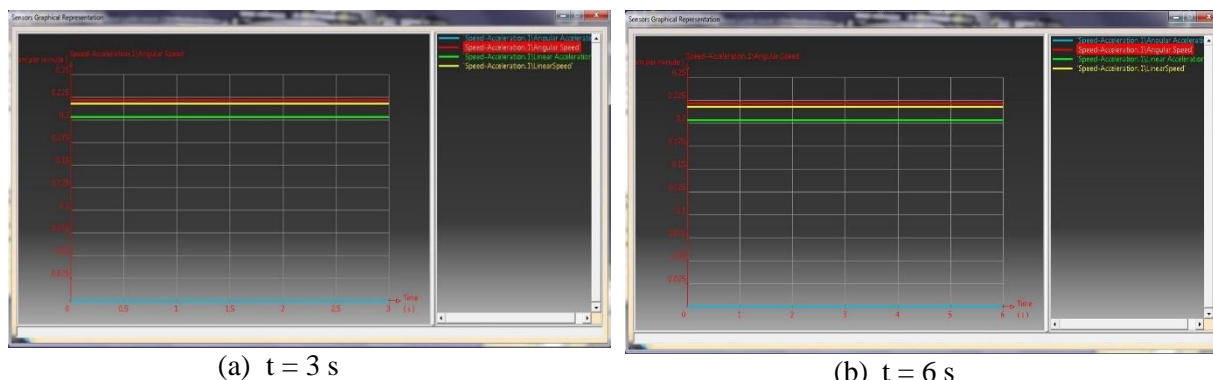
(a) $t = 3$ s

Sensors		
Selection	Instantaneous Values	History
Sensor	Value	Unit
'Speed-Acceleration.1\LinearSpeed'	0,00524234	Meter p...
'Speed-Acceleration.1\Linear Acceleration'	0,000121995	Meter p...
'Speed-Acceleration.1\Angular Speed'	0,222222	Turn per...
'Speed-Acceleration.1\Angular Acceleration'	0	Radian p...

(b) $t = 6$ s

Gambar 8. Contoh hasil perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan aplikasi CATIA

Adapun grafik analisa *forklink* pada saat $t = 3$ s dan $t = 6$ s dapat dilihat pada gambar 9. Dimana, garis yang berwarna kuning menunjukkan hasil simulasi kecepatan linier, garis yang berwarna merah menunjukkan kecepatan sudut, garis yang berwarna hijau menunjukkan percepatan linier dan garis berwarna biru yang merepresentasikan nilai percepatan sudut *forklink* pada titik A.



Gambar 9. Grafik analisis forklink pada saat $t = 3$ dan $t = 6$ s

Berdasarkan hasil yang didapatkan dapat dilihat bahwa kecepatan linier pada titik A berjalan konstan selama 3 - 6 s, atau bisa di katakan tidak ada perubahan kecepatan yang terjadi pada titik tersebut. Dimana, kecepatan awal saat $t = 0$ s adalah 0,00524234 m/s, kecepatan linier pada $t = 3$ s tetap sama yaitu 0,00524234 m/s hingga kecepatan linier akhir pada saat $t = 6$ s tetap sama yaitu 0,00524234 m/s.

Begitupula untuk kecepatan sudut *forklink* dititik A selama 3 s dan 6 s menunjukkan kecepatan sudut berjalan konstan selama jangka waktu tersebut dengan kecepatan awal saat $t = 0$ s, $t = 3$ s dan $t = 6$ s adalah 0,2222 rad/menit atau 0,023259 rad/s.

Untuk nilai percepatan linier pada titik yang sama juga menunjukkan nilai yang konstan dalam jangkauan waktu yang telah di tentukan yaitu $t = 0$ s, $t = 3$ s dan $t = 6$ s adalah sebesar 0,000121995 m/s^2 .

Sedangkan untuk nilai percepatan sudut terlihat garis biru yang merepresentasikan nilainya bersinggungan dengan sumbu x pada grafik. Jadi Nilai percepatan sudut bisa dikatakan juga tidak mengalami perubahan apapun dan bernilai 0 (0 rad/s^2). Hal ini juga dipengaruhi dengan tidak ada input nilai α (alpha) pada titik ini. Hasil daripada proses validasi nilai yang didapatkan secara numerik dengan perhitungan analitis dapat dilihat dengan seksama pada tabel 2.

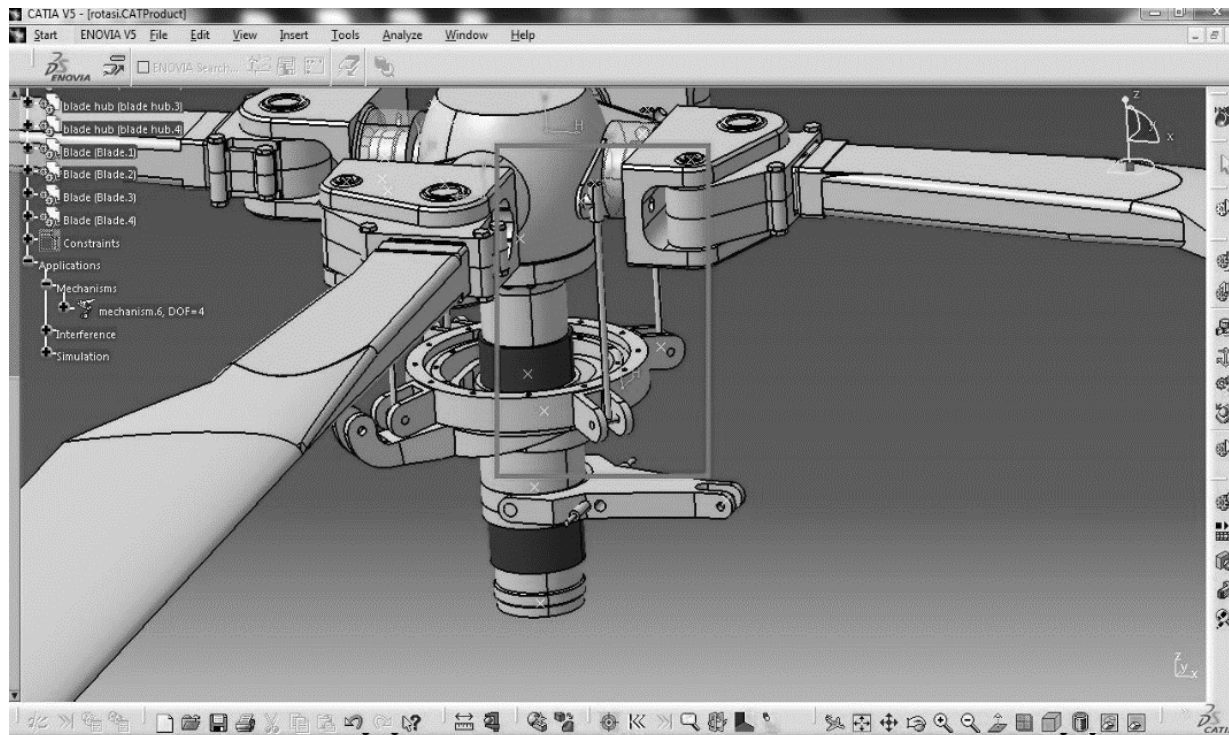
Tabel 2. Hasil Validasi Analisa pada Forklink

Titik (point)	Time sample	CATIA	Analytical	Galat Mutlak	Galat Relatif	Galat Relatif Hampiran	Satuan
Kecepatan linier pada titik A	$t = 3$	0.00524234	0.00523960	0.00000274	0.0523%	0.0523%	m/s
Kecepatan sudut pada titik A	$t = 3$	0.22222200	0.22220000	0.00002200	0.0099%	0.0099%	Turn/min
Kecepatan linier pada titik A	$t = 6$	0.00524234	0.00523960	0.00000274	0.0523%	0.0523%	m/s
Kecepatan sudut pada titik A	$t = 6$	0.22222200	0.22220000	0.00002200	0.0099%	0.0099%	Turn/min
Percepatan linier pada titik A	$t = 3$	0.00012200	0.00012187	0.00000013	0.1042%	0.1041%	m/s^2
Percepatan sudut pada titik A	$t = 3$	0%	0%	0%	0%	0%	Rad/s^2
Percepatan linier pada titik A	$t = 6$	0.00012200	0.00012187	0.00000013	0.1042%	0.1041%	m/s^2
Percepatan sudut pada titik A	$t = 6$	0	0	0	0%	0%	Rad/s^2

B. Analisa translation

Analisa *translation* merupakan analisis yang dilakukan untuk mendapatkan hasil pergerakan translasi pada *sliding sleeve*. Pada analisis ini diasumsikan untuk pergerakan *pull up* pada helikopter maksimal pergerakan dari *sliding sleeve* adalah sebesar 32 mm arah ke bawah. Pada analisa ini 4 titik diletakkan

sebagai referensi untuk melakukan analisis kinematiknya yaitu titik A,C,D, dan E dengan komponen yang *fixed* yaitu pada *spacer rotor mast*.



Gambar 10. Analisis Translasi

Tabel 3. Hasil Analisis Translasi Pada Titik E

Titik	Time sample	CATIA	Analytical	Galat Mutlak	Galat Relatif	Galat Relatif Hampiran	Satuan
Kecepatan linier pada titik E	t = 3	0.00661303	0.0061589	0.00045413	7.3736%	6.8672%	m/s
Kecepatan sudut pada titik E	t = 3	0.464115	0.464115	0	0%	0%	Turn/min
Kecepatan linier pada titik E	t = 6	0.00728402	0.0064656	0.00081842	12.6581%	11.2358%	m/s
Kecepatan sudut pada titik E	t = 6	0.487231	0.487231	0	0%	0%	Turn/min
Percepatan linier pada titik E	t = 3	0.00025488	0.0002992	0.00004432	14.8115%	17.3867%	m/s ²
Percepatan sudut pada titik E	t = 3	0	0	0	0%	0%	Rad/s ²
Percepatan linier pada titik E	t = 6	0.00028091	0.0003297	0.00004879	14.7986%	17.3690%	m/s ²
Percepatan sudut pada titik E	t = 6	0	0	0	0%	0%	Rad/s ²

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, hasil yang menunjukkan nilai galat atau error yang sangat besar dari hasil analisis dan numerik terdapat pada titik E seperti di tunjukkan pada tabel 3. Untuk hasil analisa pada titik yang lainnya (A,C dan D) dapat dilihat pada tabel yang ada di dalam lampiran.

C. Analisa rotation

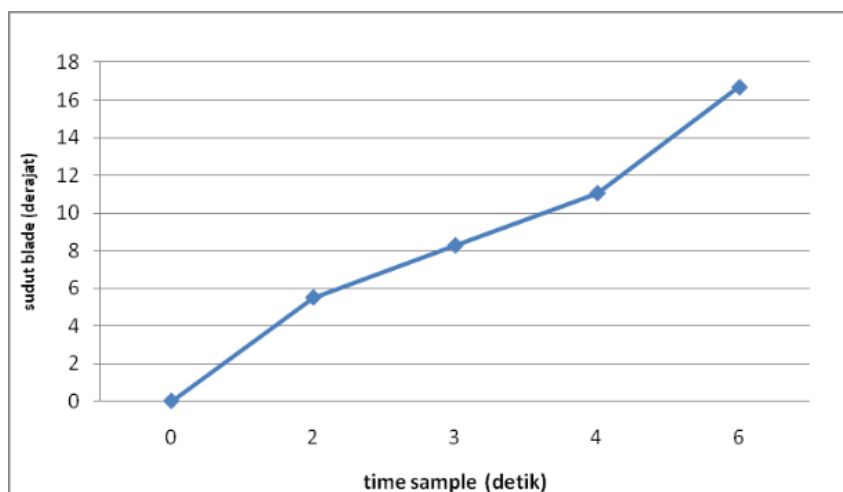
Analisa *rotation* merupakan analisis yang dilakukan untuk mendapatkan hasil pergerakan rotasi pada *rotor head* dan *rotor mast*. Pada analisis ini data teknik dari helikopter sejenis NBO-105 untuk putaran/menit nya sekitar 424 putaran, yang dikonversi kedalam bentuk rpm. Ada 2 titik yang diletakkan sebagai referensi untuk melakukan analisis kinematiknya dengan komponen yang tetap tidak bergerak yaitu pada *spacer rotor mast*. Hasil daripada analisa kecepatan linier, kecepatan sudut, percepatan linier dan percepatan sudutnya dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisa Rotasi

Titik (<i>point</i>)	Time sample	CATIA	Analytical	Galat Mutlak	Galat Relatif	Galat Relatif Hampiran	Satuan
Kecepatan linier pada titik A	t = 3	2.1092	2.1081	0.0011	0.0522%	0.0522%	m/s
Kecepatan sudut pada titik A	t = 3	424.0280	424.0280	0	0%	0%	Turn/min
Kecepatan linier pada titik A	t = 6	2.1092	2.1081	0.0011	0.0522%	0.0522%	m/s
Kecepatan sudut pada titik A	t = 6	424.0280	424.0280	0	0%	0%	Turn/min
Kecepatan linier pada titik D	t = 3	11.8071	11.8576	0.0505	0.4259%	0.4277%	m/s
Kecepatan sudut pada titik D	t = 3	424.0280	424.0280	0	0%	0%	Turn/min
Kecepatan linier pada titik D	t = 6	11.8071	11.8576	0.0505	0.4259%	0.4277%	m/s
Kecepatan sudut pada titik D	t = 6	424.0280	424.0280	0	0%	0%	Turn/min
Percepatan linier pada titik A	t = 3	93.6570	93.5620	0.0950	0.1015%	0.1014%	m/s ²
Percepatan sudut pada titik A	t = 3	0	0	0	0%	0%	Rad/s ²
Percepatan linier pada titik A	t = 6	93.6570	93.5620	0.0950	0.1015%	0.1014%	m/s ²
Percepatan sudut pada titik A	t = 6	0	0	0	0%	0%	Rad/s ²
Percepatan linier pada titik D	t = 3	525.5370	526.2600	0.7230	0.1374%	0.1376%	m/s ²
Percepatan sudut pada titik D	t = 3	0	0	0	0%	0%	Rad/s ²
Percepatan linier pada titik D	t = 6	525.5370	526.2600	0.7230	0.1374%	0.1376%	m/s ²
Percepatan sudut pada titik D	t = 6	0	0	0	0%	0%	Rad/s ²

D. Analisa Perubahan Sudut Blade Terhadap Waktu

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan terkait dengan perubahan posisi *blade* pada waktu-waktu tertentu dari t = 0 s sampai t = 6 s adalah sebagai berikut. Pada awalnya, *blade* berada pada posisi awal atau posisi nol derajat. Selanjutnya, dalam waktu 2 s, *blade* mengalami peningkatan sudut sebesar 5,506 derajat dari posisi awal. Pada saat t = 3 s, *blade* sudah berada pada sudut 8,284 derajat dari posisi awal. Pada t = 4 s, *blade* sudah meningkat hingga sudut 11,065 derajat. Puncak pergerakan *blade* terjadi pada saat t = 6 s, mencapai sudut maksimum sebesar 16,7 derajat. Adapun proses perubahan sudut *blade* dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 11. Jika dicermati peningkatan dari besar sudut *blade* terhadap waktu tidak linier sepanjang perubahannya. Hal tersebut dapat terjadi bila pemodelan dan assembly yang dilakukan tidak begitu presisi sesuai dengan model sebenarnya.



Gambar 11. Grafik perubahan sudut blade

Tabel 5. Perbandingan Hasil Pemodelan CATIA V5R16 dengan perhitungan manual sudut Blade terhadap waktu

Time sample (s)	Hasil pemodelan CATIA (deg)	Hasil perhitungan manual (deg)
0	0,013	0
2	5,519	5,523
3	8,284	8,354
4	11,065	11,276
6	16,7	17,54

V. KESIMPULAN

Aplikasi CATIA V5R16 dapat digunakan untuk memodelkan komponen – komponen swash plate, rotor head dan rotor blade dan dapat di rangkai juga disimulasikan. Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan ukuran yang presisi pada setiap komponen sangat berperan penting dalam proses simulasi. Semakin presisi ukuran dari setiap komponen yang dibuat akan mengurangi resiko terjadinya clash pada saat simulasi. Selain itu, pada proses perakitan, ketepatan dalam penggunaan constraint juga sangat penting agar proses simulasi yang dilakukan tidak menimbulkan masalah.

Berdasarkan hasil simulasi dari komponen – komponen tersebut telah didapatkan hasil kecepatan linier, kecepatan sudut, percepatan linier dan percepatan sudutnya melalui analisis kinematik pada software CATIA V5R16. Hasil analisis kinematik tersebut dibandingkan dengan perhitungan teoritis dan hasil yang telah didapatkan memiliki selisih yang relatif sangat kecil. Dimana satu hasil yang menarik yang ditemukan adalah terkait dengan perubahan sudut blade.

Perubahan besar sudut blade seharusnya linier sepanjang perubahan waktunya, namun pada analisa yang telah dilakukan hasil yang didapatkan tidak linier. Perbedaan tersebut sangat kecil sekali dan dapat dilihat dari perbandingan hasil menggunakan CATIA V5R16 dan hasil secara teoritis. Hal ini dapat terjadi jika pemodelan yang dilakukan tidak cukup presisi antara satu komponen dengan komponen lainnya.

Oleh karena itu, pemodelan komponen-komponen swash plate, rotor head dan rotor blade sangat membutuhkan pengukuran lebih presisi agar mendapatkan pemodelan yang lebih akurat dan detail agar hasil yang didapat menjadi lebih baik. Begitupula dalam proses penggambaran poligon kecepatan dan percepatan akan menjadi lebih baik jika dapat dilakukan menggunakan skala yang lebih besar sehingga analisis yang diperoleh menjadi semakin akurat.

REFERENSI

- Chen, F., Zhang, J., Gong, Q., Song, Y., & Su, D. (2009). *The Motion Reliability Simulation and Analysis of Main Rotor Head of Helicopter Rotor System*. In *Proceedings of 2009 8th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety, ICRMS 2009*. doi:10.1109/ICRMS.2009.5269986
- Febrianto, A., & Santoso, A. (2017). Analisa Perbandingan Torsi dan RPM Turbin Tipe Darrieus Terhadap Efisiensi Turbin. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). doi:10.12962/j23373539.v5i2.19414
- Fendi, H. A., & Djamari, FX. (2014). Karakteristik Aerodinamik Rotor Helikopter Synergy N9. *Indept*, 3(4).
- Gudmundsson, S. (2013). *General Aviation Aircraft Design: Applied Methods and Procedures*. *General Aviation Aircraft Design: Applied Methods and Procedures*. doi:10.1016/C2011-0-06824-2
- Gündüz, M. E., Khalid, A., & Schrage, D. P. (2007). *Weight Estimation Using CAD In The Preliminary Rotorcraft Design*. In *33rd European Rotorcraft Forum Kazan, Russia*.
- Iriandi, R. G., & Djamari, F. X. (2016). Pengaruh Payload Terhadap Climb Performance Helikopter Synergy N9. *Jurnal Industri Elektro dan Penerbangan*, 6(2).
- Kusmarwanto, I. (2008). Helikopter Pesawat Terbang VTOL . Surabaya.
- Lyu, W. L., & Xu, G. H. (2015). *New-Trim-Method-Based Investigation on The Cyclic-Pitch-Effectuated Advancing-Blade-Concept Helicopter Aerodynamics*. In *Journal of Aircraft* (Vol. 52). doi:10.2514/1.C033059
- Martin, G. H. (1984). *Kinematika dan Dinamika Teknik Edisi kedua* (2nd ed.). Jakarta: Erlangga.
- Nawawi, A., & Jack Zakaria. (1999). *Teori Dasar Helikopter : untuk Sekolah Menengah Kejuruan Bidang Keahlian Teknologi Pesawat Terbang* (1st ed., Vol. 1). Jakarta: Departemen Penedidikan dan Kebudayaan.
- NBO 105. (1976). *NBO 105 Technical Definition*. Hamburg: MBB Helicopter division.
- Poerwanto, Ek., Tarigan, J. P., Simanjuntak, R. A., & Sodikin, I. (2017). Analisis Ergonomi Makro Pada Industri Penerbangan Indonesia untuk Peningkatan Keselamatan Penerbangan. *Jurnal Rekavasi*, 8(1).
- Pramana, H., & Bakar, A. (2020). Analisis Karakteristik Aerodinamik Pengaruh Penambahan Berp Blade pada Main Rotor Helikopter Synergy N9 dengan *Jurnal Industri Elektro dan Penerbangan*.
- Santoso, D. W. (2019). Pengenalan Penggunaan Software Perancangan Pesawat di Industri Penerbangan pada Siswa SMK Muhammadiyah I Temon Kulon Progo. *KACANEGARA Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 2(1). doi:10.28989/kacanegara.v2i1.411
- Saroinsong, H. S., Poekoel, V. C., & Manembu, P. D. (2018). Rancang Bangun Wahana Pesawat Tanpa Awak (Fixed Wing) Berbasis Ardupilot. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 7(1).
- Systems, A. C. et al. (n.d.). FlightGlobal | Pioneering Aviation News and Insight.
- Yadav, R., & Singh, J. (2018). Implementation of CATIA V5 in Modeling and Simulation of Workbench Vice. *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER)*, 6(5).

Lampiran

Titik (<i>point</i>)	Time sample	CATIA	Analytical	Galat Mutlak	Galat Relatif	Galat Relatif Hampiran	Satuan
Kecepatan linier pada titik A	t = 3	0.00533333	0.00533333	0	0%	0%	m/s
Kecepatan sudut pada titik A	t = 3	0	0	0	0%	0%	Turn/min
Kecepatan linier pada titik A	t = 6	0.00533333	0.00533333	0	0%	0%	m/s
Kecepatan sudut pada titik A	t = 6	0	0	0	0%	0%	Turn/min
Kecepatan linier pada titik C	t = 3	0.00533333	0.00533333	0	0%	0%	m/s
Kecepatan sudut pada titik C	t = 3	0	0	0	0%	0%	Turn/min
Kecepatan linier pada titik C	t = 6	0.00533333	0.00533333	0	0%	0%	m/s
Kecepatan sudut pada titik C	t = 6	0	0	0	0%	0%	Turn/min
Kecepatan linier pada titik D	t = 3	0.00533333	0.00533333	0	0%	0%	m/s
Kecepatan sudut pada titik D	t = 3	0	0	0	0%	0%	Turn/min
Kecepatan linier pada titik D	t = 6	0.00533333	0.00533333	0	0%	0%	m/s
Kecepatan sudut pada titik D	t = 6	0	0	0	0%	0%	Turn/min
Kecepatan linier pada titik E	t = 3	0.00661303	0.0061589	0.00045413	7.3736%	6.8672%	m/s
Kecepatan sudut pada titik E	t = 3	0.464115	0.464115	0	0%	0%	Turn/min
Kecepatan linier pada titik E	t = 6	0.00728402	0.0064656	0.00081842	12.6581%	11.2358%	m/s
Kecepatan sudut pada titik E	t = 6	0.487231	0.487231	0	0%	0%	Turn/min
Percepatan linier pada titik A	t = 3	0	0	0	0%	0%	m/s ²
Percepatan sudut pada titik A	t = 3	0	0	0	0%	0%	Rad/s ²
Percepatan linier pada titik A	t = 6	0	0	0	0%	0%	m/s ²
Percepatan sudut pada titik A	t = 6	0	0	0	0%	0%	Rad/s ²
Percepatan linier pada titik C	t = 3	0	0	0	0%	0%	m/s ²
Percepatan sudut pada titik C	t = 3	0	0	0	0%	0%	Rad/s ²
Percepatan linier pada titik C	t = 6	0	0	0	0%	0%	m/s ²
Percepatan sudut pada titik C	t = 6	0	0	0	0%	0%	Rad/s ²
Percepatan linier pada titik D	t = 3	0	0	0	0%	0%	m/s ²
Percepatan sudut pada titik D	t = 3	0	0	0	0%	0%	Rad/s ²
Percepatan linier pada titik D	t = 6	0	0	0	0%	0%	m/s ²
Percepatan sudut pada titik D	t = 6	0	0	0	0%	0%	Rad/s ²
Percepatan linier pada titik E	t = 3	0.00025488	0.0002992	0.00004432	14.8115%	17.3867%	m/s ²
Percepatan sudut pada titik E	t = 3	0	0	0	0%	0%	Rad/s ²
Percepatan linier pada titik E	t = 6	0.00028091	0.0003297	0.00004879	14.7986%	17.3690%	m/s ²
Percepatan sudut pada titik E	t = 6	0	0	0	0%	0%	Rad/s ²