

KAJI NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL PENGARUH BATANG ELASTIK PADA MEKANISME ENKOL PELUNCUR

ABSTRAK

Analisis gaya pada mekanisme umumnya menggunakan asumsi gerak benda kaku. Persoalan yang sering muncul pada analisis tersebut adalah terjadinya 'over' disain yang menghasilkan gaya inersia yang relatif besar. Untuk menghindari over disain tersebut maka dikembangkan analisis dinamik untuk benda elastik.

Di sisi lain, sifat elastisitas pada batang akan menghasilkan ketidakpresisian gerakan yang disebabkan oleh adanya deformasi. Untuk itu dilakukan analisis secara numerik dengan menggunakan Metode Elemen Hingga dan divalidasi dengan eksperimental. Sebagai bahan studi kasus digunakan mekanisme engkol peluncur dengan memvariasikan jenis material batang penghubung. Dari hasil simulasi numerik dan eksperimen tersebut terlihat bahwa regangan aksial sebanding dengan kenaikan putaran engkol dan berbanding terbalik dengan kekakuan aksial batang penghubung.

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pada umumnya, analisis gaya pada mekanisme menggunakan asumsi gerak benda kaku (*rigid body motion*). Asumsi benda kaku tersebut tidak memungkinkan adanya getaran pada batang-batang penyusun mekanisme. Persoalan yang sering muncul pada analisis ini adalah terjadinya *over* disain yang menghasilkan gaya inersia yang relatif lebih besar. Untuk menghindari *over* disain ini dikembangkan analisis dinamik benda elastik. Bentuk penerapannya adalah dengan membuat batang-batang penyusun mekanisme lebih ramping yang menghasilkan perilaku elastik. Namun, batang-batang elastik akan menyebabkan getaran pada mekanisme terutama saat beroperasi pada kecepatan tinggi.

Di sisi lain, sifat elastisitas akan menghasilkan ketidakpresisian gerakan yang disebabkan oleh deformasi batang elastik, dalam hal ini adalah batang penghubung (*coupler*). Untuk itu dilakukan analisis secara numerik dengan menggunakan metode Elemen Hingga yang kemudian diuji secara eksperimen.

Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, tim peneliti membatasi permasalahan hanya untuk mengamati perilaku mekanisme engkol peluncur dengan membuat batang penghubung elastik dan batang engkol kaku. Bentuk penampang batang adalah seragam.

2. TUJUAN DAN MANFAAT

Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

- Untuk mengetahui perilaku ketidakstabilan pada mekanisme elastik.
- Untuk mengetahui hubungan antara putaran terhadap perilaku kestabilan mekanisme.

Manfaat Penelitian

- Memberikan pengalaman dalam proses penelitian pada bidang analisis dinamik mekanisme yang terdapat pada mesin-mesin industri.
- Menjadi dasar untuk membuat dan mengembangkan model-model baru dalam penelitian-penelitian berikutnya.

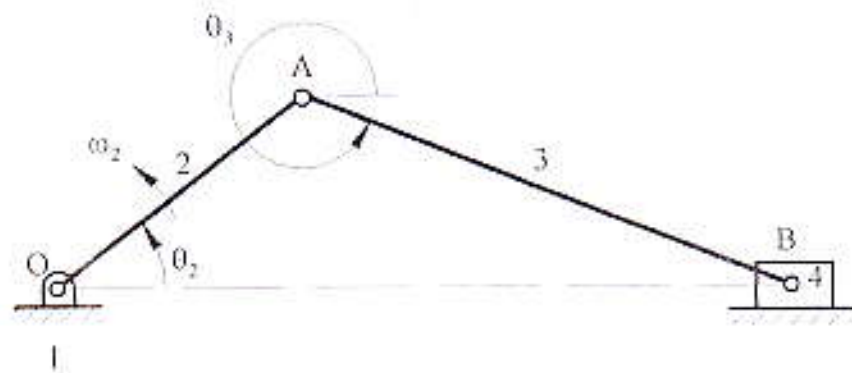
Metodologi

- Studi literatur dan formulasi mekanisme engkol peluncur.
- Pemograman hasil formulasi
- Uji coba dan pemeriksaan program.
- Membuat alat mekanisme engkol peluncur.
- Melakukan eksperimen.
- Membandingkan hasil numerik dengan hasil eksperimen.

3. TINJAUAN PUSTAKA

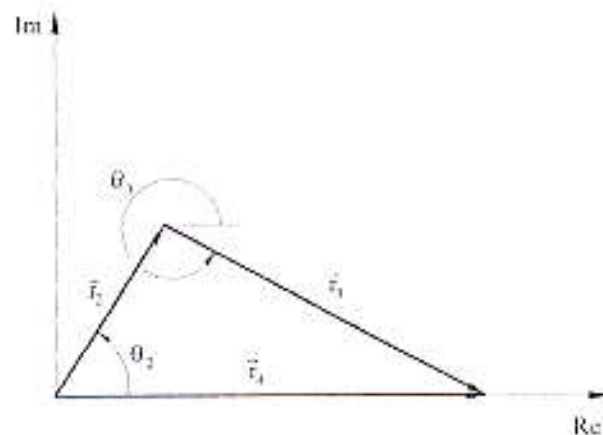
Analisis Kinematika

Pada gambar 1 diperlihatkan sebuah mekanisme engkol peluncur yang diputar dengan kecepatan ω_2 konstan. Panjang masing-masing batang diberikan, dimana panjang batang dua dan tiga konstan, sedangkan batang empat berubah sesuai dengan posisi engkol. Analisis kinematika untuk sistem ini adalah penentuan vektor posisi, kecepatan, dan percepatan masing-masing titik.



Gambar 1 Mekanisme engkol peluncur

Analisis vektor gambar 1 dapat diperlihatkan seperti pada gambar 2 dengan menyatakan jarak $\overline{OA} : \vec{r}_2$, $\overline{AB} : \vec{r}_3$, dan $\overline{OB} : \vec{r}_4$.



Gambar 2 Vektor posisi mekanisme engkol peluncur

Dengan mengacu pada gambar 2 dapat dituliskan hubungan vektor berikut.

$$\vec{r}_4 = \vec{r}_2 + \vec{r}_3 \quad \dots(1)$$

Analisis untuk posisi dapat dilakukan dengan menyatakan keseimbangan vektor pada arah sumbu Riil dan Imajiner, sehingga diperoleh persamaan (2) dan (3),

$$r_4 = r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \theta_3 \quad \dots(2)$$

$$0 = r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin \theta_3 \quad \dots(3)$$

Dengan menggunakan persamaan (3) dapat diperoleh

$$\theta_3 = \sin^{-1} \left(\frac{-r_2 \sin \theta_2}{r_3} \right) \quad \dots(4)$$

Analisis kecepatan dapat dilakukan dengan mendiferensialkan persamaan (2) dan (3). Hasil turunan persamaan tersebut dapat dinyatakan pada persamaan (5) dan (6).

$$V_B = \dot{r}_1 = -r_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 - r_3 \dot{\theta}_3 \sin \theta_3 \quad \dots(5)$$

Persamaan (5), untuk komponen riil, dan komponen imajinerinya dinyatakan pada persamaan (6),

$$0 = r_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 + r_3 \dot{\theta}_3 \cos \theta_3 \quad \dots(6)$$

Dengan menggunakan persamaan (6) diperoleh kecepatan sudut untuk batang tiga yang dinyatakan dengan persamaan (7).

$$\dot{\theta}_3 = -\dot{\theta}_2 \left(\frac{-r_2 \cos \theta_2}{r_3 \cos \theta_3} \right) \quad \dots(7)$$

Percepatan diperoleh dengan mendiferensialkan persamaan (5) dan (6) yang menghasilkan persamaan (8) dan (9), dimana persamaan (8) merupakan komponen riil dan persamaan (9) komponen imajinerinya,

$$\begin{aligned} A_{11} = \ddot{r}_1 &= -r_2 \frac{d}{dt} (\dot{\theta}_2 \sin \theta_2) - \frac{d}{dt} (r_3 \dot{\theta}_3 \sin \theta_3) \\ &= -r_2 \left[\left(\sin \theta_2 \frac{d}{dt} \dot{\theta}_2 \right) + \left(\dot{\theta}_2 \frac{d \sin \theta_2}{dt} \right) \right] - \\ &\quad r_3 \left[\left(\sin \theta_3 \frac{d}{dt} \dot{\theta}_3 \right) + \left(\dot{\theta}_3 \frac{d \sin \theta_3}{dt} \right) \right] \quad \dots(8) \\ &= r_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 - r_2 \dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2 - r_3 \dot{\theta}_3 \sin \theta_3 - r_3 \dot{\theta}_3^2 \cos \theta_3 \\ &= -r_2 (\dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2 + \ddot{\theta}_2 \sin \theta_2) - r_3 (\dot{\theta}_3 \sin \theta_3 + \dot{\theta}_3^2 \cos \theta_3) \end{aligned}$$

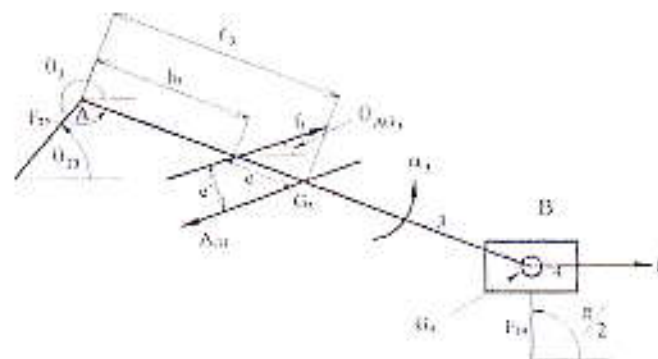
$$\begin{aligned} 0 &= r_2 \frac{d}{dt} (\dot{\theta}_2 \cos \theta_2) + \frac{d}{dt} (r_3 \dot{\theta}_3 \cos \theta_3) \\ &= r_2 \left[\left(\cos \theta_2 \frac{d}{dt} \dot{\theta}_2 \right) + \left(\dot{\theta}_2 \frac{d \cos \theta_2}{dt} \right) \right] + \\ &\quad r_3 \left[\left(\cos \theta_3 \frac{d}{dt} \dot{\theta}_3 \right) + \left(\dot{\theta}_3 \frac{d \cos \theta_3}{dt} \right) \right] \quad \dots(9) \\ &= r_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 - r_2 \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2 + r_3 \dot{\theta}_3 \cos \theta_3 - r_3 \dot{\theta}_3^2 \sin \theta_3 \\ &= r_2 (\dot{\theta}_2 \cos \theta_2 - \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2) + r_3 (\dot{\theta}_3 \cos \theta_3 - \dot{\theta}_3^2 \sin \theta_3) \end{aligned}$$

Dengan penyerhanaan persamaan (9) diperoleh percepatan sudut batang tiga, yaitu

$$\ddot{\theta}_3 = \frac{r_2 (\dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2 - \ddot{\theta}_2 \cos \theta_2)}{r_3 \cos \theta_3} + \frac{r_3 \dot{\theta}_3^2 \sin \theta_3}{\cos \theta_3} \quad \dots(10)$$

Analisis Dinamik Engkol Peluncur

Penentuan arah dan besar semua percepatan di titik pusat massa sangat penting untuk menentukan semua gaya inersia yang bekerja. Pada analisis ini, semua gaya inersia diterapkan sekaligus. Dengan cara ini, metode penghitungan dapat dilakukan dengan cepat, walaupun analisisnya menjadi lebih kompleks. Pada gambar 3 diperlihatkan diagram benda bebas batang 3 dan 4. Gaya inersia f_3 dan f_4 ditentukan dari percepatan titik G_3 dan G_4 . Dalam analisis ini tidak ada gaya luar yang bekerja. Gaya F_{14} telah diketahui arahnya (gesekan diabaikan), tetapi besarnya belum dapat ditentukan. Pada titik A, besar dan arah F_{23} belum diketahui.



Gambar 3 Diagram benda bebas batang 3 dan 4

Besar gaya inersia f_3 dan posisinya di batang 3 dinyatakan dengan persamaan (11), (12), dan (13),

$$f_3 = m_3 \cdot A_{G3} e^{i(\theta_{3G3})} \quad \dots(11)$$

$$e' = \frac{I_3 \alpha_3}{m_3 A_{G3}} \quad \dots(12)$$

$$e = \frac{e'}{\sin(\theta_3 - \theta_{AG3})} \quad \dots(13)$$

$$h_3 = l_3 - \frac{e'}{\sin(\theta_3 - \theta_{AG3})} \quad \dots(13)$$

Untuk memperoleh F_{23} , dan F_{14} , pertama-tama diambil keseimbangan gaya pada diagram benda bebas batang 3 dan 4 yang dinyatakan dengan persamaan (14)

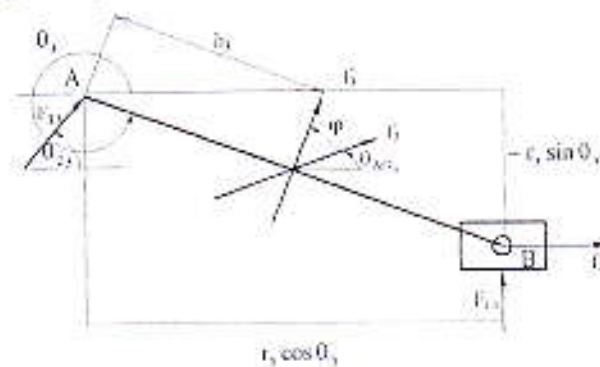
$$F_{23} e^{i\theta_3} + f_3 e^{i(\theta_{3G3})} + F_{14} e^{i(\frac{\pi}{2})} + f_4 e^{i(\pi)} = 0 \quad \dots(14)$$

Pemisahan komponen riil dan imajiner persamaan (14) dinyatakan dalam persamaan (15) dan (16),

$$F_{23} \cos \theta_{23} + f_3 \cos(\theta_{AG3}) - f_4 = 0, \quad \dots(15)$$

$$F_{23} \sin \theta_{23} + f_3 \sin(\theta_{AG3}) + F_{14} = 0. \quad \dots(16)$$

Schubungan dengan tidak diketahuinya tiga besaran, maka harus dicari satu persamaan lagi untuk menyelesaikan persamaan (14) dengan menggunakan keseimbangan momen. Untuk memudahkan penghitungan, dicari komponen gaya f_3 yang tegak lurus pada batang tiga (f'_3), yang ditunjukkan pada gambar 4,



Gambar 4 Keseimbangan momen terhadap titik A

dimana

$$\begin{aligned} f'_3 &= f_3 \cos \varphi \\ &= f_3 \cos \left(\theta_3 - \theta_{AG3} - \frac{3\pi}{2} \right) \\ &= f_3 \sin(\theta_3 - \theta_{AG3}). \end{aligned} \quad \dots(17)$$

Dengan mengambil keseimbangan momen terhadap titik A dapat diperoleh persamaan (18) berikut,

$$F_{14} r_3 \cos \theta_3 + f_4 (-r_3 \sin \theta_3) + f'_3 h_3 = 0. \quad \dots(18)$$

Dengan menggunakan persamaan (18) dapat diperoleh harga F_{14} ,

$$F_{14} = \frac{-f_4 (-r_3 \sin \theta_3) - f'_3 h_3}{r_3 \cos \theta_3}. \quad \dots(19)$$

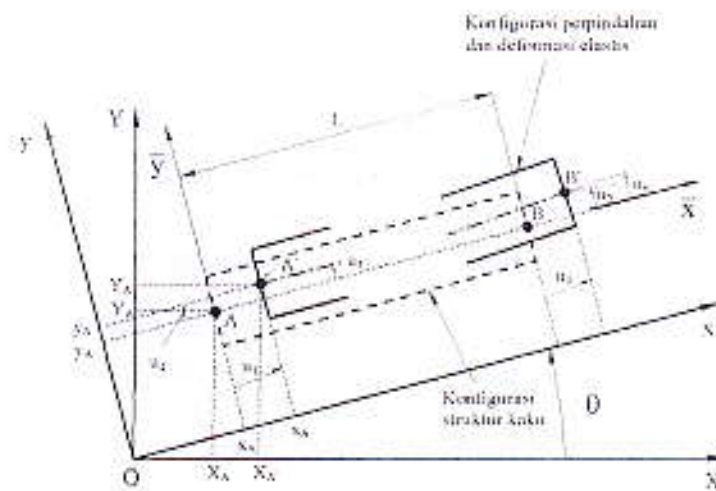
Dengan menggabungkan persamaan (15) dan (16) dapat diperoleh besar dan arah F_{23} yang dituliskan dalam persamaan (20) dan θ_{23} dinyatakan dengan persamaan (21) berikut,

$$F_{21} = \sqrt{(f_2 - f_1 \cos(\theta_{M13}))^2 + (-f_1 \sin(\theta_{M13}) - F_{13})^2} \quad \dots(20)$$

$$\theta_{21} = \frac{-f_1 \sin(\theta_{M13}) - F_{13}}{f_2 - f_1 \cos(\theta_{M13})} \quad \dots(21)$$

Persamaan Gerak Dua Dimensi Batang Elastik

Sebuah batang elastik pada mekanisme yang mengalami deformasi secara umum diperlihatkan pada gambar 5. Ada dua rangka yang digunakan sebagai referensi, yaitu rangka tetap (OXY) dan rangka putar (Oxy). Sumbu x merupakan rangka putar yang selalu sejajar dengan posisi batang kaku. Deformasi elastik elemen batang ditunjukkan secara lengkap dengan koordinat perpindahan nodal u_1 sampai u_6 . Perpindahan ini ditunjukkan dalam arah positif dengan mengacu pada posisi struktur kaku elemen batang, yang menjelaskan deformasi A-A' dan B-B'. Pada gambar 5 diperlihatkan hubungan deformasi kedua titik yang dinyatakan dalam acuan rangka tetap (OXY),



Gambar 5 Konfigurasi Perpindahan/deformasi elemen batang kaku dan elastik

Vektor percepatan untuk gambar 5 dapat dituliskan dalam bentuk notasi sebagai berikut,

$$\{\ddot{u}_e\} = \{\ddot{u}_r\} + \{\ddot{u}\} + \{\ddot{a}_n\} + \{\ddot{a}_c\} + \{\ddot{a}_t\}, \quad \dots(22)$$

dimana

$\{\ddot{u}_n\}$ = vektor percepatan mutlak,

$\{\ddot{u}_r\}$ = vektor percepatan struktur kaku,

$\{\ddot{u}\}$ = vektor percepatan relatif (terhadap posisi struktur kaku elemen batang),

$\{a_n\}$ = vektor percepatan normal,

$\{a_c\}$ = vektor percepatan corioli, dan

$\{a_t\}$ = vektor percepatan tangensial.

Dengan mengabaikan bentuk percepatan normal, corioli, dan tangensial, persamaan (22) dapat diubah menjadi

$$\{\ddot{u}_s\} = \{\ddot{u}_r\} + \{\ddot{u}\} \quad \dots(23)$$

Prosedur penyusunan persamaan gerak struktur rangka didasarkan pada salah satu metode numerik yaitu Metode Elemen Hingga. Pada metode tersebut dilakukan pendiskritan elemen, sehingga struktur yang semula merupakan struktur kontinu diuraikan menjadi beberapa elemen yang jumlahnya berhingga. Dalam analisisnya, Metode Elemen Hingga ini membutuhkan dua sistem koordinat yang berbeda, yaitu

- Sistem koordinat lokal, dimana setiap elemen mempunyai orientasi yang berbeda-beda, dan
- Sistem koordinat global, yang merupakan sistem koordinat struktur keseluruhan.

Matriks Massa dan Kekakuan Elemen

Ada dua metode yang digunakan untuk penyusunan matriks massa elemen rangka bidang. Pertama, metode massa terpusat, dimana massa batang diasumsikan terpusat pada titik-titik nodalnya. Matriks massa yang diperoleh adalah matriks diagonal.

Metode kedua adalah metode massa konsisten. Pada metode ini massa dianggap terdistribusi di sepanjang rangka. Bentuk matriks massa dapat disusun berdasarkan persamaan berikut,

- Massa inersia dalam arah aksial,

$$\bar{m}_{i,j} = \int_0^L m(\bar{x}) \phi_i(\bar{x}) \phi_j(\bar{x}) d\bar{x}, \quad i = 1,4 \text{ dan } j = 1,4, \quad \dots(24)$$

- Massa inersia dalam arah lenturan untuk bidang $\bar{x} - \bar{y}$,

$$\bar{m}_{i,j} = \int_0^L m(\bar{x}) \phi_i(\bar{x}) \phi_j(\bar{x}) d\bar{x}, \quad i = 2,3,5,6 \text{ dan } j = 2,3,5,6. \quad \dots(25)$$

Jika hasil integral dari persamaan (24) dan persamaan (25) digabungkan dalam bentuk matriks, maka diperoleh matriks massa elemen rangka seperti ditulis pada persamaan (26),

$$[\bar{m}] = \rho \Delta L \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & & & & & & & & & & \\ & \frac{13}{35} & & & & & & & & & \\ 0 & \frac{11L}{210} & \frac{L^2}{105} & & & & & & & & \\ & 0 & 0 & \frac{1}{3} & & & & & & & \\ 0 & \frac{9}{70} & \frac{13L}{420} & 0 & \frac{13}{35} & & & & & & \\ & 0 & \frac{-13L}{420} & 0 & \frac{-11L}{210} & \frac{L^2}{105} & & & & & \\ 0 & \frac{-13L}{420} & \frac{-L^2}{140} & 0 & \frac{-11L}{210} & \frac{L^2}{105} & & & & & \end{bmatrix}, \quad \dots(26)$$

dengan

ρ = densitas,

Δ = luas penampang, dan

L = panjang elemen.

Dengan bantuan prinsip kerja semu, dimana kerja semu luar berada dalam keadaan seimbang dengan kerja semu dalam, maka dapat dihitung koefisien kekakuan dari elemen rangka yang mempunyai harga berbeda-beda, tergantung dari jenis pembebanan. Untuk perpindahan normal, konstanta kekakuannya adalah

$$\bar{k}_{i,j} = \int_0^L EA \phi_i'(\bar{x}) \phi_j'(\bar{x}) d\bar{x}, \quad i = 1,4 \text{ dan } j = 1,4. \quad \dots(27)$$

Konstanta kekakuan yang berhubungan dengan perpindahan lentur untuk bidang $\bar{x} - \bar{y}$ adalah

$$\bar{k}_{i,j} = \int_0^L EI \phi_i''(\bar{x}) \phi_j''(\bar{x}) d\bar{x}, \quad i = 2,3,5,6 \text{ dan } j = 2,3,5,6. \quad \dots(28)$$

Jika konstanta-konstanta kekakuan tersebut disatukan dan ditulis dalam bentuk matriks, maka akan diperoleh matriks kekakuan untuk elemen rangka seperti pada persamaan (29),

$$[\bar{k}] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & & & & & & \\ & \frac{12EI}{L^3} & & & & & \\ & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & & & & \\ -\frac{EA}{L} & & & \frac{EA}{L} & & & \\ & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{13L}{420} & & \frac{12EI}{L^3} & & \\ & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & \end{bmatrix}, \quad \text{simetri} \quad \dots(29)$$

dengan

A = luas penampang,

E = modulus elastisitas, dan

L = panjang elemen.

Persamaan gerak untuk elemen batang dapat diperoleh sebagai berikut,

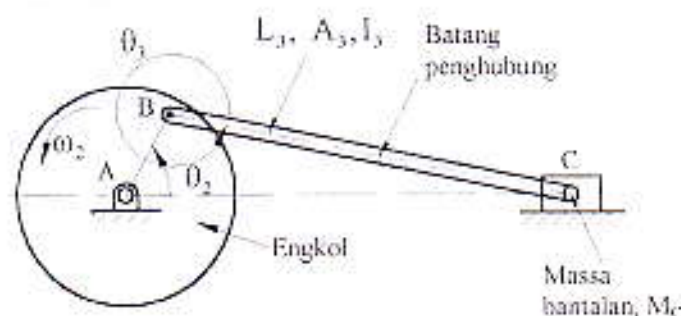
$$[\bar{m}]\{\ddot{u}_e(t)\} + [\bar{k}]\{u(t)\} = \{\bar{Q}\}, \quad \dots(30)$$

dimana

$\{\bar{Q}\}$ = matriks gaya luar.

3. METODOLOGI SIMULASI NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL

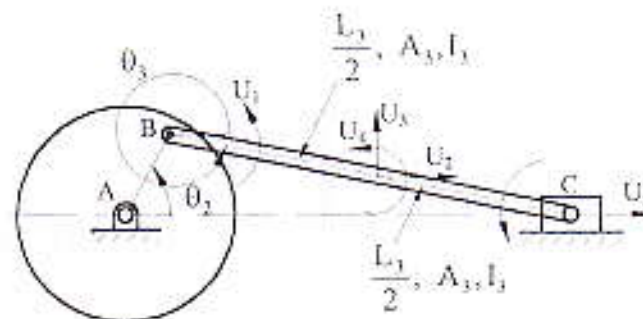
Untuk mengetahui fenomena ketidakstabilan pada mekanisme engkol peluncur dilakukan dengan dua cara yaitu simulasi numerik dan ekperimental. Sebagai studi kasus untuk analisis mekanisme elastik ini digunakan mekanisme engkol peluncur, dimana batang penghubung dibuat elastik.



Gambar 6 Mekanisme engkol peluncur dengan batang penghubung elastik

Pada gambar 6 diperlihatkan mekanisme engkol peluncur dengan engkol diputar berlawanan arah jarum jam pada kecepatan ω_2 konstan. Engkol tersebut dianggap kaku dengan jari-jari L_2 , dan batang penghubung memiliki panjang L_3 , sedangkan sudut referensi dinyatakan sebagai θ_2 dan θ_3 . Batang penghubung diasumsikan memiliki luas penampang seragam, A_3 , dengan momen inersia I_3 . Peluncur dengan massa M , bergerak translasi tanpa gesekan, dan tidak ada gaya luar yang bekerja padanya. Pada titik B dan C dipasangkan bantalan yang menghubungkan masing-masing batang dengan massa m_B dan m_C .

Untuk analisis numerik tentang perilaku batang elastik dilakukan dengan membagi batang penghubung atas beberapa elemen, kemudian dibentuk matriks massa dan matriks kekakuan struktur yang dinyatakan dalam koordinat global dengan mengacu pada sudut referensi. Pada gambar 7 diperlihatkan contoh analisis numerik dengan menggunakan dua elemen diskrit.

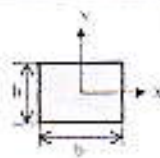
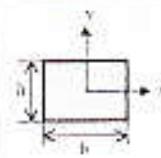
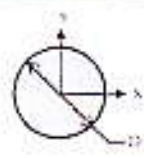


Gambar 7 Pembagian elemen dan definisi perpindahan elastik batang penghubung

Data-data yang digunakan dalam eksperimen dan simulasi ditampilkan dalam Tabel 1a dan Tabel 1b.

Tabel 1a Tabel sifat material dan dimensi batang penghubung.

Data	Batang penghubung		
	Aluminium	Baja karbon menengah	Baja karbon rendah
Panjang (m)	0.505	0.505	0.505

Jenis penampang (b, h, D dalam mm)	 $b = 9, h = 3$	 $b = 9, h = 2.5$	 $D = 10.027$
Luas penampang (m^2)	$27 \cdot 10^{-6}$	$22.5 \cdot 10^{-6}$	$7.8965 \cdot 10^{-5}$
Inersia penampang (m^4)	$2.025 \cdot 10^{-11}$	$1.1718 \cdot 10^{-11}$	$4.9620 \cdot 10^{-10}$
Densitas (kg/m^3)	2660	7800	7800
Modulus elastisitas (Pa)	$7.17 \cdot 10^{10}$	$20.68 \cdot 10^{10}$	$18.96 \cdot 10^{10}$

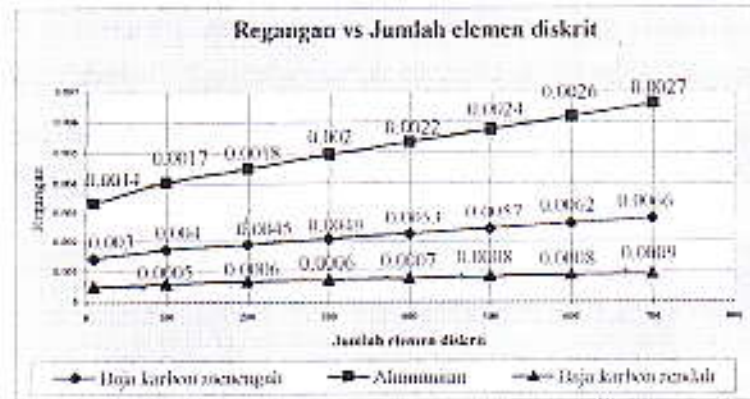
Tabel 1b Data komponen-komponen penghubung

Data	Nilai
Massa peluncur (kg)	0.9
Massa buntalan, $M_B + M_C$ (kg)	0.1
Jari-jari engkol (m)	0.125

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dan Hasil Simulasi Numerik

Penghitungan regangan secara komputasi dilakukan dengan cara membagi batang penghubung menjadi beberapa elemen dan mengasumsikan engkol peluncur kaku. Ketelitian hitungan tersebut bervariasi sesuai dengan perubahan jumlah elemen. Hal ini terjadi karena peningkatan jumlah elemen akan memperkecil ukuran elemen sehingga regangan yang terjadi pada suatu tempat tertentu di sepanjang batang diwakili oleh regangan yang terjadi pada elemen tersebut. Hubungan regangan terhadap variasi pembagian elemen tersebut diperlihatkan pada gambar 8.



Gambar 8 Perbandingan regangan batang penghubung secara numerik untuk setiap peningkatan jumlah elemen diskrit

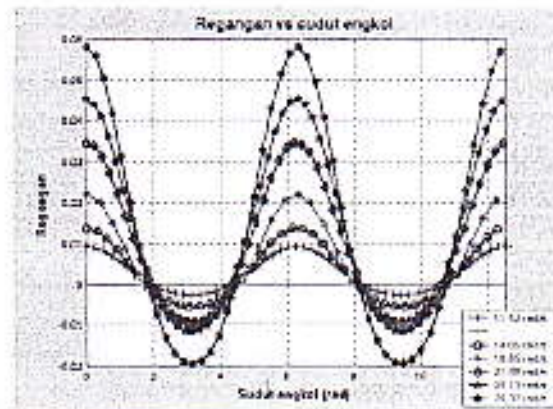
Pada gambar 8 diperlihatkan bahwa jumlah elemen yang digunakan dalam analisis numerik akan mempengaruhi tingkat ketelitian penghitungan regangan yang terjadi. Untuk itu perlu dipilih jumlah elemen yang optimum agar nilai yang diperoleh mendekati hasil yang sebenarnya. Penentuan jumlah elemen diskrit tersebut dapat dilihat dari persentase penyimpangan regangan yang dihasilkan. Pada Gambar 9 diperlihatkan persentase penyimpangan regangan terhadap jumlah elemen diskrit yang digunakan.



Gambar 9 Persentase penyimpangan regangan yang dihitung secara numerik untuk setiap peningkatan jumlah elemen diskrit

Regangan yang dialami ketiga jenis batang penghubung dengan menggunakan 600 elemen diskrit akan mengalami penyimpangan rata-rata 7.1 % jika dibandingkan dengan penggunaan 500 elemen diskrit. Sementara dalam tulisan ini dibatasi besar penyimpangan yang terjadi maksimal 7 %. Pada analisis numerik selanjutnya digunakan 700 elemen diskrit, karena penyimpangan regangan rata-ratanya lebih kecil dari persyaratan yang digunakan.

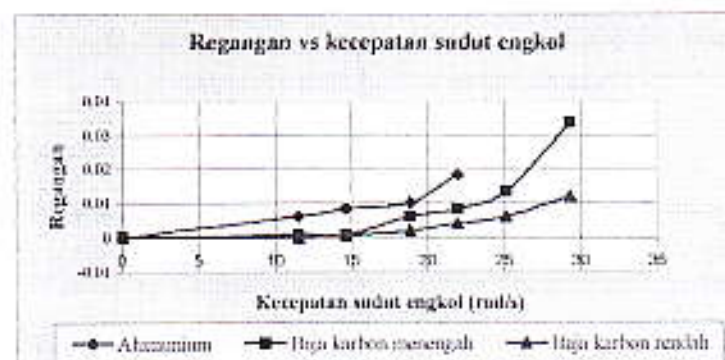
Besar regangan aksial yang terjadi pada batang penghubung elastik aluminium dengan data fisik pada Tabel 1 diperlihatkan pada gambar 10. Mekanisme diputar dengan variasi kecepatan sudut engkol 11.52 rad/s, 14.66 rad/s, 18.85 rad/s, 21.99 rad/s, 25.13 rad/s, dan 29.32 rad/s.



Gambar 10 Regangan aksial batang penghubung aluminium vs perubahan sudut engkol secara numerik

• Analisis dan Hasil Eksperimen

Hasil yang diperoleh secara eksperimen berupa posisi peluncur untuk setiap perubahan posisi engkol yang dicuplik dengan menggunakan kertas pencatat. Regangan yang dialami batang penghubung tidak dapat ditentukan secara langsung. Besarnya diperoleh melalui perbandingan posisi peluncur dengan variasi batang penghubung terhadap jarak tempuh yang sebenarnya. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan panjang awal batang penghubung. Besar regangan yang dialami masing-masing batang penghubung untuk setiap kecepatan sudut engkol diperlihatkan pada gambar 11.



Gambar 11 Perbandingan regangan aksial batang penghubung secara eksperimen

Secara umum, regangan yang diperoleh melalui eksperimen untuk ketiga batang penghubung menunjukkan kecenderungan yang sama dengan hasil simulasi numerik, walaupun hasil yang diperoleh secara eksperimen berupa regangan maksimum dan bukan regangan yang terjadi untuk setiap perubahan posisi sudut engkol. Hal ini disebabkan keterbatasan alat ukur yang digunakan. Regangan yang dialami batang penghubung akan meningkat sejalan dengan kenaikan putaran batang engkol.

5 PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil simulasi numerik dan eksperimen mekanisme engkol peluncur dapat disimpulkan sebagai berikut,

1. Proses konvergensi pada simulasi numerik sebanding dengan peningkatan jumlah elemen diskrit, dengan persentase penyimpangan penggunaan 700 elemen diskrit lebih kecil dari 7 % dibandingkan dengan penggunaan 600 elemen.
2. Regangan aksial yang dialami batang penghubung sebanding dengan peningkatan putaran batang engkol, dan berbanding terbalik dengan kekakuan aksialnya.
3. Kestabilan mekanisme engkol peluncur akan menurun pada putaran tinggi yang ditandai dengan semakin bertambahnya regangan aksial yang terjadi pada batang penghubung (*coupler*).

Saran

Sebagai kelanjutan dari penelitian ini disarankan untuk melakukan analisis terhadap perilaku ketidakstabilan mekanisme dengan mengganti bantang engkol juga elastik, sehingga pengaruh gaya inersia pada mekanisme semakin kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana dengan dibiayai oleh dana Rutin Lembaga Penelitian Universitas Andalas. Terima kasih penulis sampaikan kepada Lembaga Penelitian, Universitas Andalas, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas dan semua pihak yang terkait dengan penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- 11/ **Bur, M.,**
Analisis Frekuensi Pribadi dan Modus Getar Suatu Struktur Mekanik
Lembaga Penelitian Universitas Andalas, Padang, 1996.
- 12/ **Holowenko, A . R .**
Dinamika Permesinan
Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.
- 13/ **Kimbrell, T . J .**
Kinematics Analysis and Synthesis
McGraw-Hill, Inc, 1991.
- 14/ **Leech, J. W.; Hsu, P. T.; Mack, E. W.**
Stability Of Finite Difference Method For Solving Matrix Equation
AIAA Journal, Vol. 4, 1996, No. 8 pp. 1450 – 1451.
- 15/ **Newmark, N. M.**
A Method of Computation For Structural Dynamics
Journal of The Engineering Mechanics Division, 85, No. EM2 ,1959, pp. 67-94.
- 16/ **Paul, B.**
Kinematics and Dynamics of Planar Machinery
Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1979.
- 17/ **Robert L. N.**
Machine Design, An Integrated Approach
Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1996.
- 18/ **Sandor, G.N; Erdman, G. E.**
Advanced Mechanism Design: Analysis and synthesis, Volume 2
Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1984.
- 19/ **Suharto, D; Rifian, K.**
Analisis Kinematika Dengan Bantuan Komputer
Jurusan Teknik Mesin, ITB, Bandung.
- 110/ **Suharto, D; Rifian, K.**
Analisis Dinamik Mekanisme Dengan Bantuan Komputer
Jurusan Teknik Mesin, ITB, Bandung.