

Effect Of Input Angle, Dimension Ratio-Mechanism Link To The Output, Transmission Angle And Motion Characteristic

Endi Sutikno, Agustinus Ariseno

Laboratory of Mechanical Basic Phenomena

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technology, Brawijaya University

Abstract

In the previous study, the design of a four bar linkage mechanism had been analyzed by using a constant length dimension of link. The relationship between degree inputs to degree output was generated by using mathematic model of generator function. In this study, variation of length dimension of link was investigated to find the characteristic the output motion of four bar linkage mechanism. The input degree, ratio of link number 2 (R_2), ratio of link number 3 (R_3) and ratio of link number 4 (R_4) is chosen as independent variable. It can be described by using output degree, transmission degree, coupler degree and possibility of the motion path.

The result shows that the increasing rate of output degree number 4 on the R_2 variation is larger than increasing rate of output degree number 4 on the variation of R_3 and R_4 . Variation of R_2 generated one working domain on the input degree number 2 to output degree number 4. The coupler degree on R_2 variation produced a larger domain than it's produced by R_3 and R_4 variation. In addition, the transmission degree for all control variables of R_2 , R_3 and R_4 obtain a polynomial curve tends to resemble as parabolic curve. For increasing of R_3 and R_4 , the curve is transformed from two domains into one domain. Moreover, for increasing of R_2 , the curve is transformed in the opposite way.

Keywords: *linkage, input angle, output angle, transmission angle, dimension ratio*

PENDAHULUAN

Mekanisme adalah bagian dari permesinan yang tersusun dari batang hubung (*link*) yang bisa bergerak satu terhadap yang lain membentuk rancang bangun bagian dari permesinan. Mekanisme dirancang untuk mentransformasi gerak, kecepatan, gaya untuk maksud penggunaan tertentu. Mekanisme empat batang tersusun dari empat buah batang hubung sedemikian rupa menghasilkan derajat ketidak tentuan kinematik (*degree of freedom of motion*) tertentu, yang dalam hal ini harus bernilai satu. Berarti mekanisme sudah pasti bergerak dengan satu variabel *input*, berupa gerakan yang diberikan kepada salah satu dari keempat *link*, yang biasanya pada *link* ke-2 dalam urutan. Sedangkan untuk *link* ke-1 dirancang tidak bergerak, diam (*fixed link*). *Link*-3, dan *link* ke-4, akan bergerak menghasilkan bentuk gerak tertentu, yang bisa dinyatakan dalam besarnya nilai sudut *follower* (θ_3), sudut transmisi (μ), dan yang penting sudut *output* (θ_4). Bentuk gerak yang

dihasilkan digambarkan oleh lintasan (*path*) sambung *link*-1 dan *link*-2, di *joint* A. Dan lintasan *output* yaitu pada *joint* B, sambungan dari *link*-3 dan *link*-4. Karakteristik gerakan digambarkan dari bentuk lintasan *joint* A, dan B serta nilai besarnya sudut *output* (θ_4) [1].

Mehmet Akyurt [2], telah meneliti hubungan variasi *follower* (*link*-3) yang berpengaruh terhadap sudut *output*, dimana disimpulkan bahwa dihasilkan nilai sudut *output* yang meningkat dengan semakin besarnya panjang relatif *link*-3, dan membentuk *mapping* hubungan sudut *input* dan sudut *output*.

Dari W.P. Boyle dan K. Liu [3], diteliti tentang analisa dari *a four bars linkage* sebagai fungsi pembangkit gerak (*function of generator*), dalam hal ini sudut *input* dapat menentukan sudut *output* dari model matematik fungsi pembangkit gerak yang diiterasikan.

Permasalahan yang sering terjadi dalam merancang mekanisme dengan 4 batang berdasarkan peneliti sebelumnya terlalu fokus pada hubungan dua variabel yang dipilih, gambar-1 yang pertama hubungan

variasi panjang relatif *link-3* dengan sudut *output* θ_4 , yang kedua memodelkan hubungan sudut *input* θ_2 dengan sudut *output* θ_4 dengan parameter panjang keempat *link* yang tetap.

Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh dari variasi panjang setiap *link* mekanisme terhadap karakteristik gerak *output* mekanisme empat batang, yang akan dinyatakan dalam sudut *output*, sudut transmisi, dan sudut *link-3* serta kemungkinan bentuk gerak yang terjadi.

Tujuan Penelitian

Dalam hal ini akan diteliti secara lengkap hubungan variasi setiap panjang *link* dalam mekanisme terhadap sudut gerak setiap *link* dalam merancang mekanisme, dalam satu periode sudut *input*.

Mekanisme

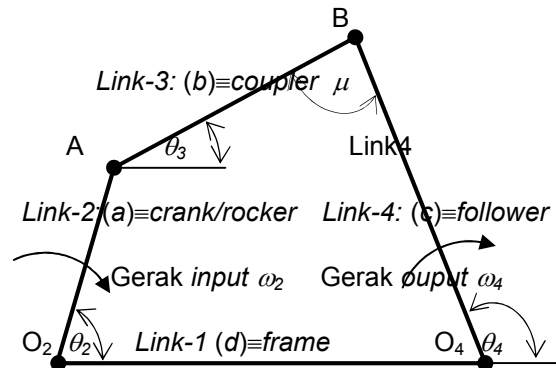
Mekanisme adalah bagian dari mesin (*machine*) atau *mechanical device* yang bertujuan merubah gerak dan atau gaya dari penggerak kepada *output*-nya. Mekanisme umumnya digambarkan dalam bentuk *linkage*, rangkaian atau interkoneksi dari beberapa *link* yang diasumsikan *rigid* yang dihubungkan satu dan lainnya, dan saling bergerak relative.

Dua *link* yang tersambung dalam bentuk pasangan (*pair*) pada suatu titik kontak yang disebut *joint*. Bagian dari permukaan *link* (*link surface*) yang kontak dengan *link* lainnya disebut elemen pasangan (*pair element*). Kombinasi dari dua elemen pasangan membentuk sebuah pasangan kinematik (*kinematic pair*). Catatan, ada perbedaan antara *pair* dan *joint*.

Sebuah *joint* menghubungkan dua buah *link* dalam sebuah pasangan sederhana (*simple pair*). *Double pair*, *triple pair*, atau *multiple pair*, biasanya terjadi pada *joint* dimana: tiga, empat atau lebih, *link* yang terhubung/tersambung oleh *pin* (*revolute joint*, atau *prismatic joint*), yang membentuk rangkaian (*chain*) terbuka atau tertutup. Suatu *linkage* sebagai rangkaian kinematika (*kinematic chain*), dengan sedikitnya sebuah *link* yang diam/tetap (*frame*), akan menjadi :

- 1) Mekanisme, bila sedikitnya dua link tetap mobilitas.

- 2) Struktur (*structure*), bila tidak ada mobilitas.



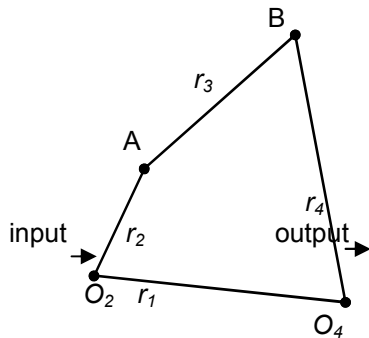
Gambar1. Mekanisme 4 batang

Mobilitas

Mobilitas didefinisikan sebagai jumlah dari jumlah minimum *independent parameter/variable* untuk menetapkan lokasi/posisi setiap link dalam ruang atau mekanisme pada waktu tertentu. Mobilitas menggambarkan derajat kebebasan gerak suatu benda (*degree of freedom*). *Independent variable* dalam hal ini adalah besaran kinematika yang diberikan kepada benda untuk menetapkan posisi yang diinginkan: posisi (*displacement*), dan kecepatan (*velocity*): baik gerak lurus atau rotasi.

Prediksi Bentuk Gerakan

Telah diketahui mekanisme berfungsi merubah gerak *input* menjadi gerak *output*, namun bentuk masing-masing gerakan belum tampak disini. Bentuk gerakan yang akan dihasilkan sangat tergantung dengan ukuran dari *link-link* yang menyusun mekanisme. Dari keempat ukuran panjang setiap *link* akan ditentukan, dan dipilih dari ukuran terpanjang (maksimum) dan terpendek (minimum). Misalkan berdasarkan gambar-2 dibawah, bahwa r_2 adalah link terpendek, sebagai s . r_4 adalah link terpanjang, sebagai l . Sedang *link-1* dan *link-3*, intermidet, masing p dan q . Sehingga: $r_2 = s$, $r_4 = l$, dan $r_1 = p$, $r_3 = q$. Menurut aturan Grashoff's (*Grashoff's Law*)



Gambar 2. Mekanisme 4 batang dengan Parameter Grashoff's [4].

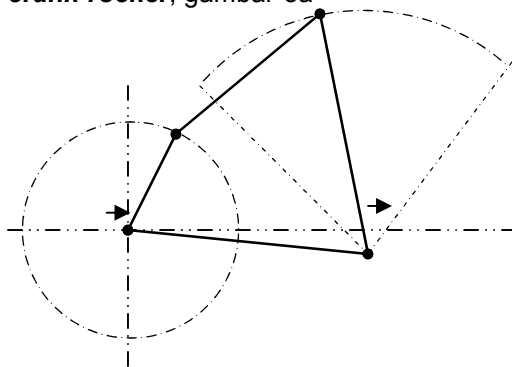
Syarat supaya mekanisme mempunyai link yang berputar penuh adalah

$$s + l < p + q, \tag{5}$$

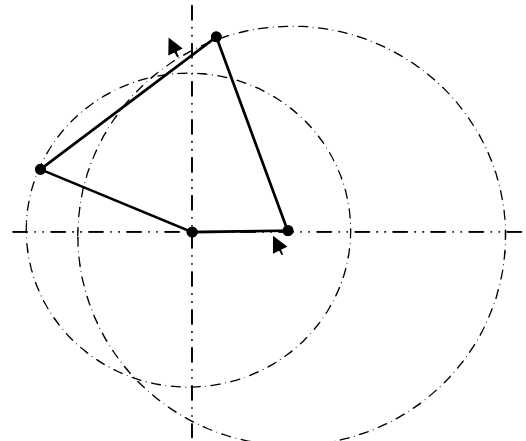
bila syarat terpenuhi maka biasanya link terpendek akan berputar penuh, dan disebut sebagai *crank*, dalam hal ini r_2 . link-4 (r_4) berputar terbatas, berayun rotasi terhadap O_4 , disebut *coupler* atau *rocker*.

Untuk r_1 yang diam (*fixed*), maka r_3 bergerak *plane motion*, yaitu suatu gerakan kombinasi dari gerak rotasi dan translasi lurus (*rectiliner*).

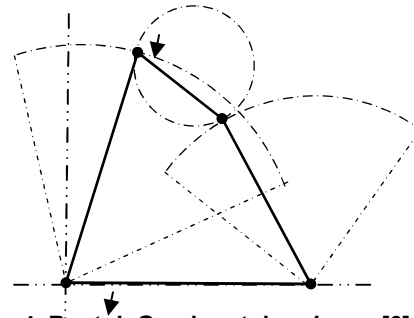
Bentuk gerak mekanisme masih dibedakan lagi berdasarkan letak dari link terpendek. Untuk link terpendek dalam gambar diatas, yaitu pada link-2 (r_2), mekanisme akan menghasilkan gerak: **crank-rocker**, gambar-3a



Gambar 3a. Bentuk Gerak untuk $s+l < p+q$, [6]. **Crank- Rocker Mechanism**



Gambar 3b. Bentuk Gerak untuk $s+l < p+q$, [6]. **Double Crank Mechanism**



Gambar 4. Bentuk Gerak untuk $s+l > p+q$, [6]. **Double Rocker Mechanism**

dalam hal ini: s adalah dimensi terpendek salah satu batang hubung (*link*) l adalah dimensi terpanjang salah satu batang hubung. p dan q adalah dimensi *intermediate*.

Hubungan Antar Sudut-Sudut Link

Berdasarkan analisa bilangan kompleks, pada persamaan model matematik dari mekanisme dengan 4 link. Diagonal z (O_2B) dibuat, dengan analisa skalar dari posisi titik B terhadap O_2 , dihasilkan formulasi sudut *output*, θ_4 , yang dinyatakan dalam sudut *input*, θ_2 adalah :

$$\sin(\theta_4 + \beta) = \frac{l + R_2(R_2 - 2 \cos \theta_2) - R_3^2 + R_4^2}{2R_4 \sqrt{l + R_2(R_2 - 2 \cos \theta_2)}} \tag{2}$$

Dimana, β bisa dihitung dari :

$$\text{tg} \beta = \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \frac{R_2 \cos \theta_2 - l}{R_2 \sin \theta_2} \tag{3}$$

dengan parameter yang baru:

R_2 : ratio panjang link – 2

R_3 : ratio panjang link – 3

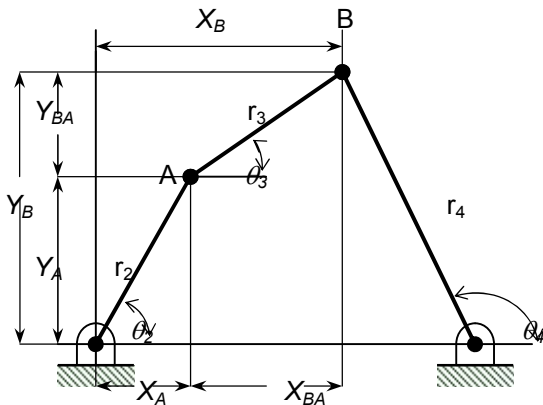
R_4 : ratio panjang link - 4

θ_2 : sudut input, sudut link-2, sebagai gerak input : $0 \leq \theta_2 \leq 360^\circ$. θ_3 : sudut link-3, sebagai gerak dari coupler link (link-3). θ_4 : sudut link-4, sebagai sudut gerak follower link (link-4). θ : sudut fasa link-4

Dari persamaan (2), dan (3), R. S. Brawn dan H. H. Mabie menemukan korelasi sudut input (θ_2) dan sudut output (θ_4) dalam variasi R_3 dimana R_1 , R_2 dan R_4 dibuat tetap, sehingga karakter gerak output bisa dilihat dari domain θ_4 terhadap perubahan θ_2 dalam domainnya.

Prosedur Penelitian

Penulis akan mengembangkan hasil penelitan dalam bentuk simulasi berdasarkan kedua peneliti di atas, dengan mengembangkan variable-variabel tergantung (*dependent variable*), yaitu variasi ratio dimensi panjang link-2, R_2 , ratio dimensi panjang link-4, R_4 , sudut link-3, θ_3 , sudut transmisi μ . Variable bebasnya adalah sebuah derajat kebebasan gerak, sebagai *generator variable of mechanism*, yaitu sudut input, θ_2 , dengan domain $0 \leq \theta_2 \leq 360^\circ$.

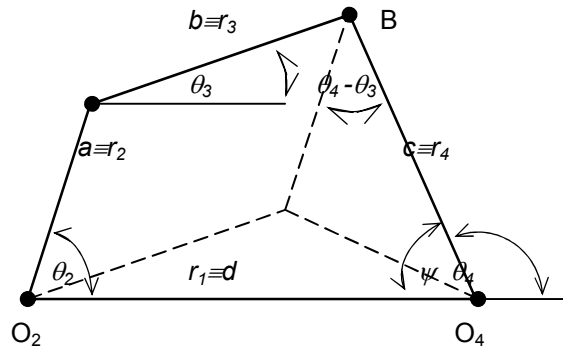


Gambar 5. Koordinat posisi mekanisme, [5].

Sudut-sudut ini diukur dari horisontal ke arah berlawanan jarum jam terhadap titik putarnya, di kwadran-1.

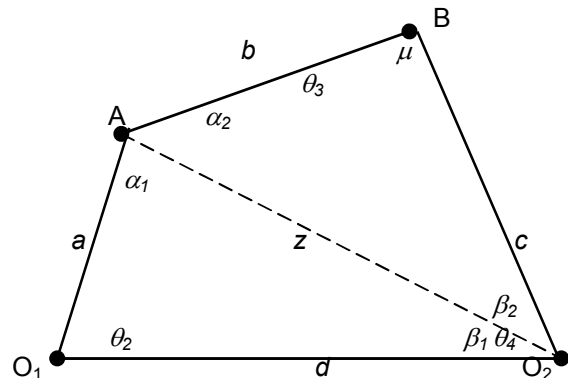
Untuk sudut transmisi μ diukur dari link-3 ke arah berlawanan jarum jam ke link-4,

dimana dalam posisi ini sudut transmisi adalah positif. Sedang sudut yang lain merupakan parameter-parameter untuk membantu dalam menentukan korelasi sudut input dan sudut output.



Gambar 6. Pemodelan sudut-sudut link pada mekanisme 4 batang

dalam hal ini $R_1 = r_1 / r_1 = 1$;
 $R_2 = r_2 / r_1 = a/d$
 $R_3 = r_3 / r_1 = b/d$
 $R_4 = r_4 / r_1 = c/d$



Gambar-7. Pemodelan sudut link pada mekanisme 4 batang dengan bantuan diagonal z.

Dengan menetapkan sebuah variabel bebas, sedang yang lain sebagai variabel kontrol atau parameter untuk mendapatkan variabel tergantung, dalam hal ini sudut output tergantung dari variasi ratio link-3 dan sudut input, maka:

1. $\theta_4 = f_1(\theta_2, R_3)$, R_1, R_2, R_4 tetap
 $\theta_3 = g_1(\theta_2, R_3)$, R_1, R_2, R_4 tetap
 $\theta = h_1(\theta_2, R_3)$, R_1, R_2, R_4 tetap
2. $\theta_4 = f_2(\theta_2, R_2)$, R_1, R_3, R_4 tetap
 $\theta_3 = g_2(\theta_2, R_2)$, R_1, R_3, R_4 tetap
 $\theta = h_2(\theta_2, R_2)$, R_1, R_3, R_4 tetap
3. $\theta_4 = f_3(\theta_2, R_4)$, R_1, R_2, R_3 tetap

$$\theta_3 = g_3(\theta_2, R_4), R_1, R_2, R_3 \text{ tetap}$$

$$\theta = h_3(\theta_2, R_4), R_1, R_2, R_3 \text{ tetap}$$

Penelitian ini menggunakan metode simulasi, dimana landasan penetapan variabel terikat dan variabel bebas berdasarkan dari peneliti terdahulu. [2] dengan variabel bebas ratio panjang *link-3*, dengan domain $0,4 \leq R_3 \leq 3,4$ $R_1 = 1$, $R_2 = 0,7$ dan $R_4 = 2,0$. F. Freudenstein dengan nilai awal dan rentang nilai untuk sudut input masing-masing $\theta_2 = 30^\circ$, $\theta_2 = 60^\circ$ maka berdasarkan data tersebut penelitian ini dengan merancang [3]:

Variabel bebas:

- a. Sudut *input* θ_2 adalah, $0^\circ \leq \theta_2 \leq 360^\circ$ dan $\Delta\theta_2 = 10^\circ$.
- b. Ratio *link-2* adalah, $0,5 \leq R_2 \leq 2,0$ dan $\Delta R_2 = 0,1$
- c. Ratio *link-3* adalah, $0,5 \leq R_3 \leq 2,0$ dan $\Delta R_3 = 0,1$
- d. Ratio *link-4* adalah, $0,5 \leq R_4 \leq 2,0$ dan $\Delta R_4 = 0,1$

Variabel terikat:

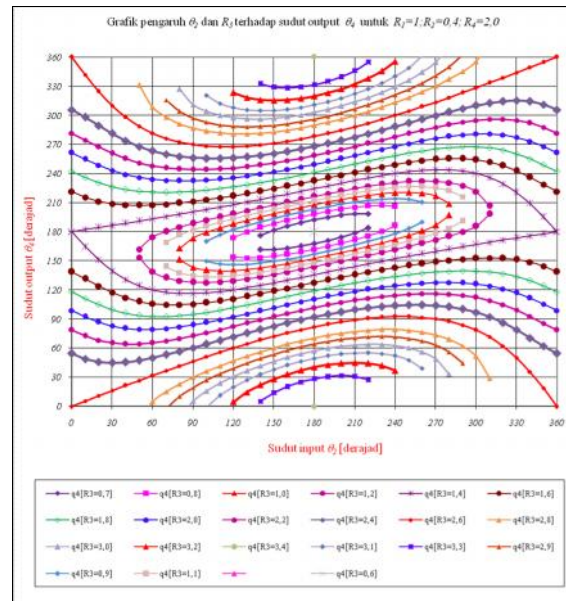
- a. Sudut *output* θ_4
- b. Sudut *copler* θ_3
- c. Sudut transmisi μ
- d. gerakan yang dihasilkan mekanisme

HASIL DAN PEMBAHASAN

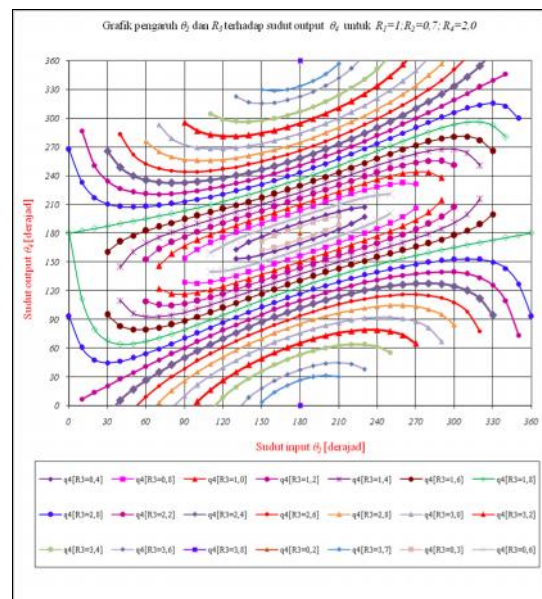
1. Hasil Simulasi $R_1 = 1,0$, $R_4 = 0,4$, $0,4 \leq R_4 \leq 2,0$. Variabel bebas R_3

Pada mekanisme empat batang (4 bar linkage) dengan variasi *link-3* (connecting link), R_3 untuk panjang *link-2*, $R_2 = 0,7$ konstan dan Variabel control *link-4*, R_4 dengan domain $0,4 \leq R_4 \leq 2,0$. Dan setelah disimulasikan didapatkan pengaruh dari variasi sudut input pada *link-2*, θ_2 dari 0° sampai 360° mendapatkan sudut *link-4*, sebagai sudut *output* mekanisme.

Dalam simulasi ini ketika $R_4 = 0,4$; karena itu $R_2 > R_4$, maka *crank* terjadi *link-4* sebagai *output*, θ_4 . Dari grafik tampak untuk $R_4 = 0,4$ dan pada variabel $R_3 = 0,7$ maka domain *input*: $0^\circ \leq \theta_2 \leq 78,43^\circ$

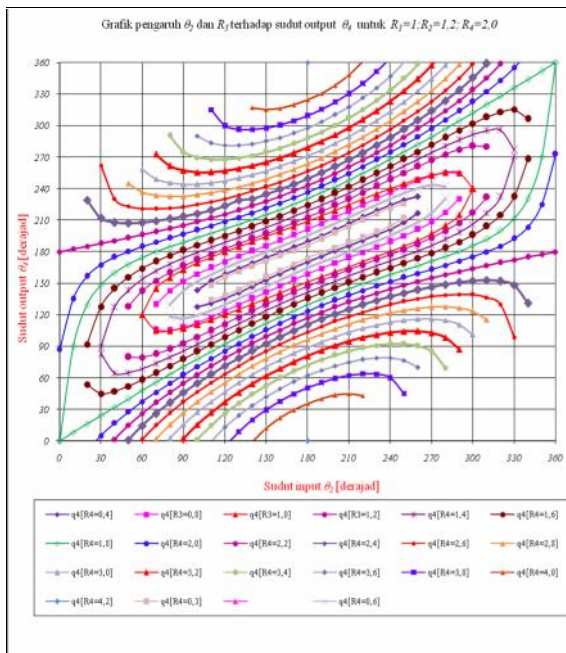


Gambar 8a. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_4 untuk $R_1=1, R_4=2,0$. $R_2=0,4$ dan $0,6 \leq R_3 \leq 3,3$.

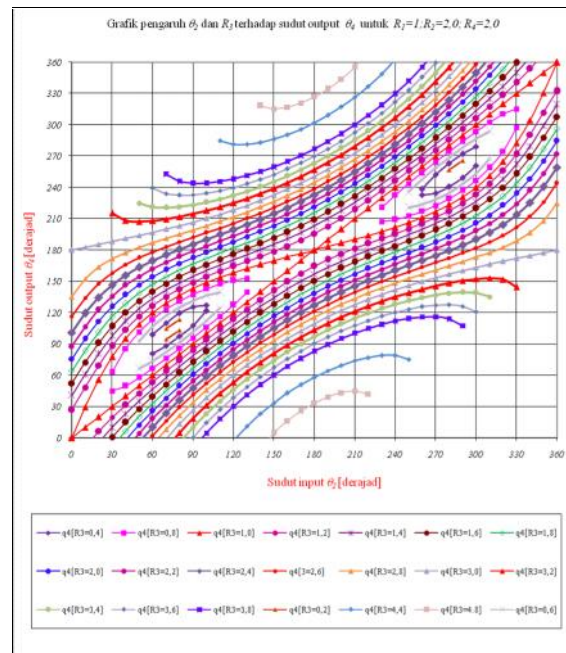


Gambar 8b. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_4 untuk $R_1=1, R_4=2,0$. $R_2=0,7$ dan $0,6 \leq R_3 \leq 3,3$.

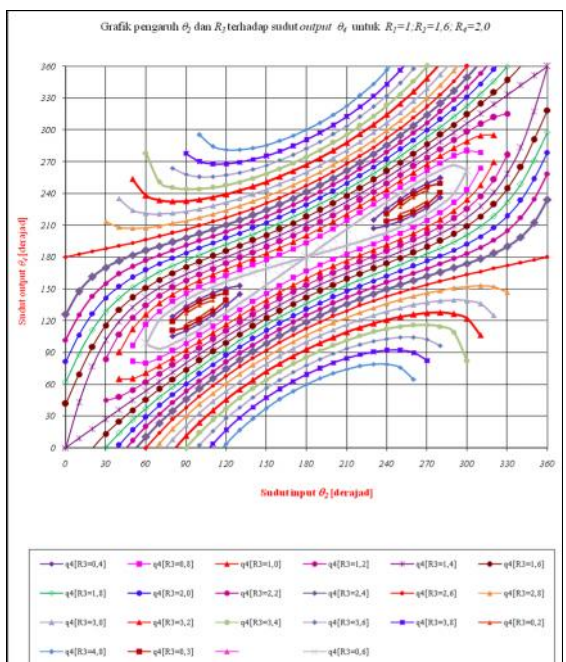
menghasilkan *output* $0^\circ \leq \theta_4 \leq 360^\circ$ dan $281,57^\circ \leq \theta_2 \leq 360^\circ$ menghasilkan *output* $0^\circ \leq \theta_4 \leq 360^\circ$. $281,57^\circ \leq \theta_2 \leq 360^\circ$ menghasilkan *output* $0^\circ \leq \theta_4 \leq 360^\circ$.



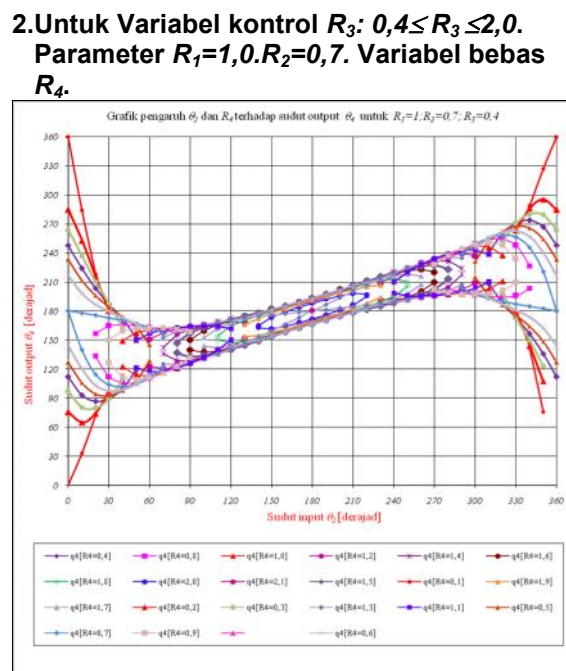
Gambar 8c. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_4 untuk $R_1=1, R_4=2,0. R_2=1,2$ dan $0,6 \leq R_3 \leq 3,3$.



Gambar 8e. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_4 untuk $R_1=1, R_4=2,0. R_2=2,0$ dan $0,6 \leq R_3 \leq 3,3$.

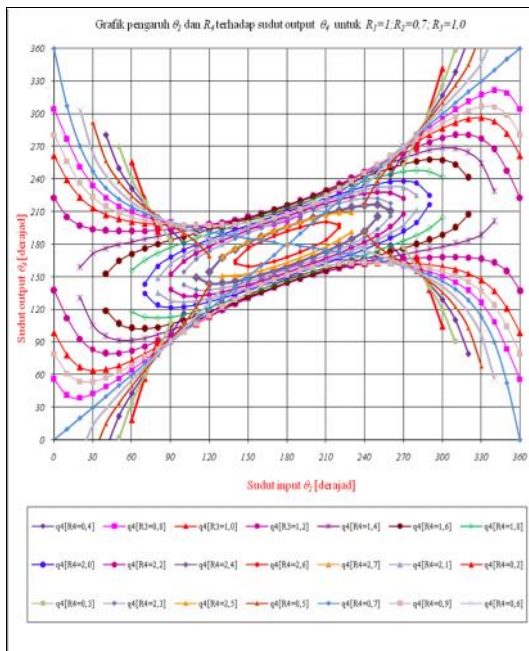


Gambar 8d. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_4 untuk $R_1=1, R_4=2,0. R_2=1,6$ dan $0,6 \leq R_3 \leq 3,3$.

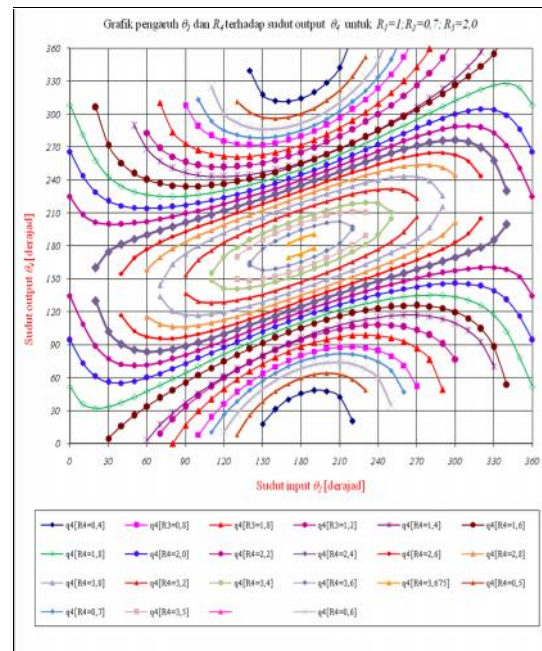


Gambar 9a. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_4 untuk $R_1=1, R_2=0,7. R_3=0,4$ dan R_4 bebas

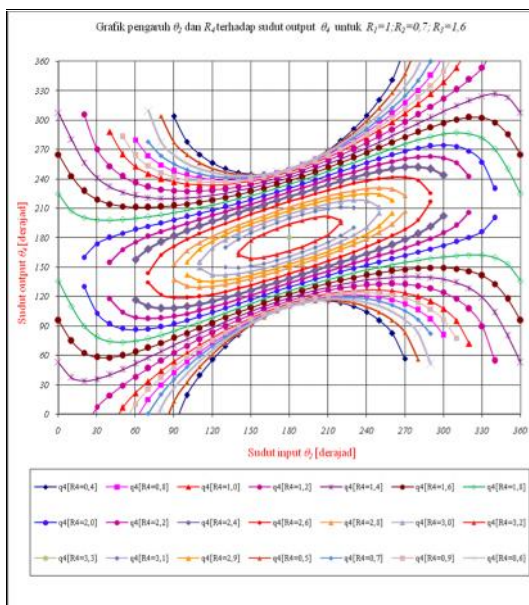
2. Untuk Variabel kontrol $R_3: 0,4 \leq R_3 \leq 2,0$.
Parameter $R_1=1,0, R_2=0,7$. Variabel bebas R_4 .



Gambar 9b. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_4 untuk $R_1=1, R_2=0,7, R_3=1,0$ dan R_4 bebas

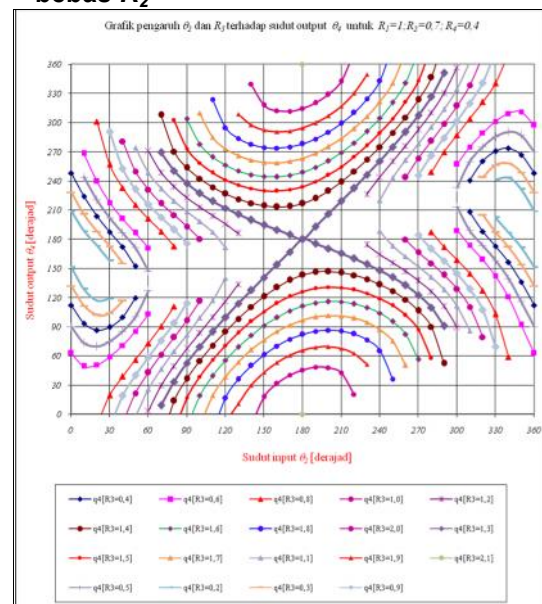


Gambar 9d. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_4 untuk $R_1=1, R_2=0,7, R_3=2,0$ dan R_4 bebas

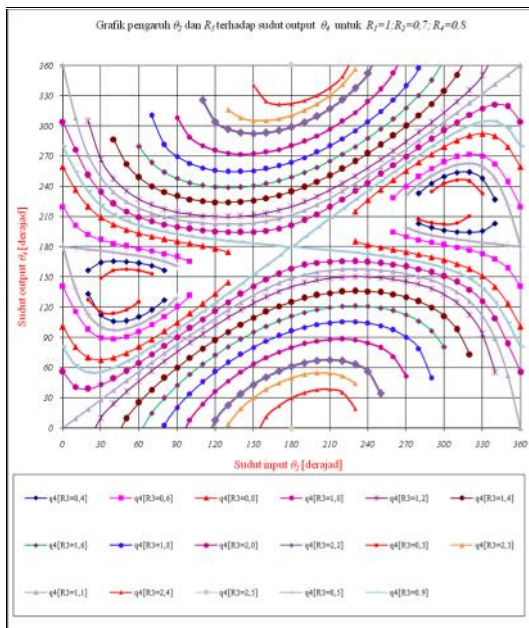


Gambar 9c. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_4 untuk $R_1=1, R_2=0,7, R_3=1,6$ dan R_4 bebas

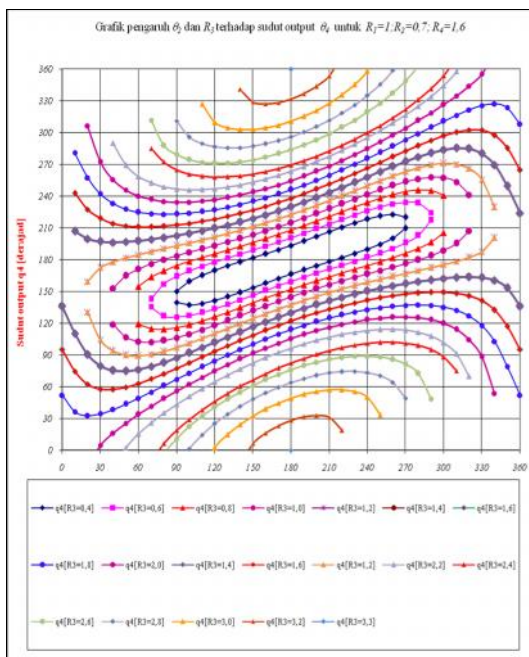
3. Untuk Variabel kontrol $R_4: 0,4 \leq R_4 \leq 2,0$. Parameter $R_1 = 1,0, R_2 = 0,7$. Variabel bebas R_2



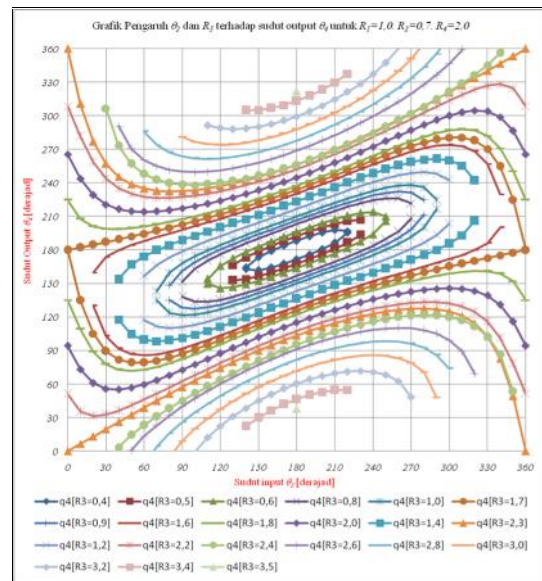
Gambar 10a. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_4 untuk $R_1=1, R_3=2,0, R_4=0,4$ dan R_2 bebas



Gambar 10b. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_4 untuk $R_1=1, R_3=2,0, R_4=0,8$ dan R_2 bebas



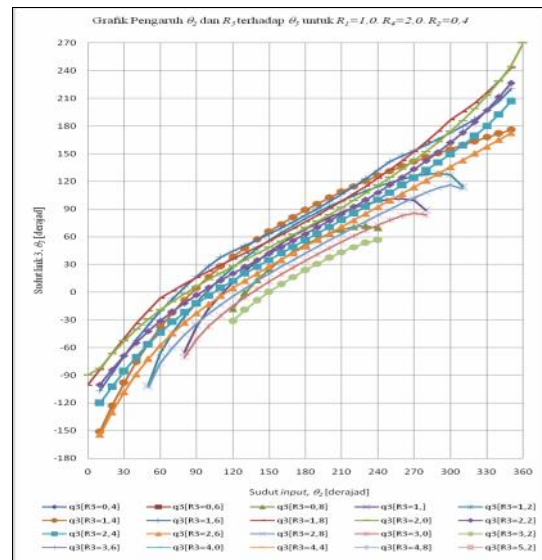
Gambar 10c. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_4 untuk $R_1=1, R_3=2,0, R_4=1,4$ dan R_2 bebas



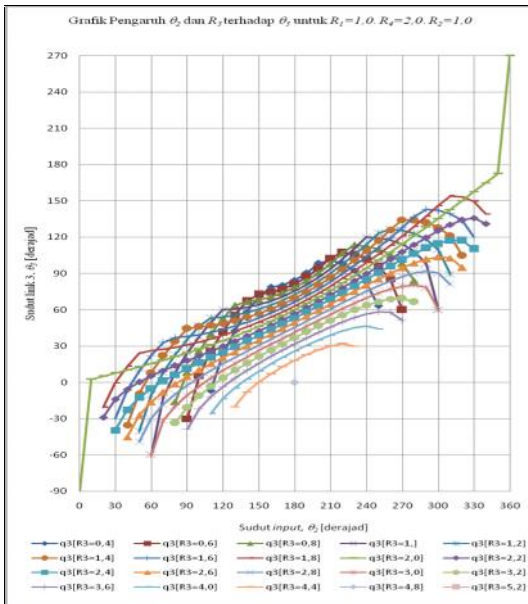
Gambar 10d. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_4 untuk $R_1=1, R_3=2,0, R_4=2,0$ dan R_2 bebas

Hasil Simulasi mekanisme 4 batang untuk sudut Link 3, θ_3

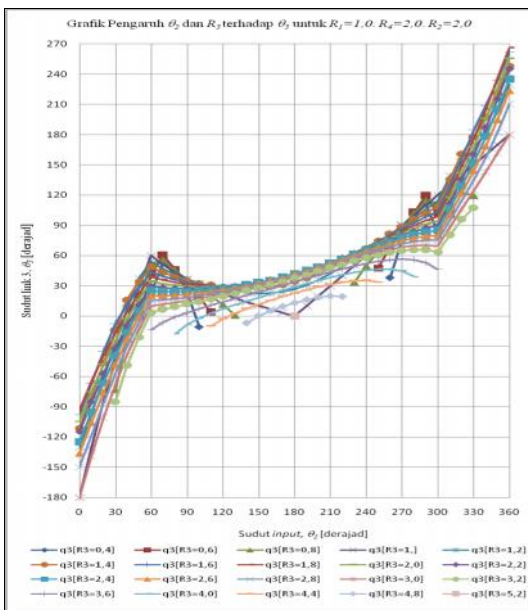
1. Untuk Variabel kontrol $R_2: 0,4 \leq R_2 \leq 2,0$. Parameter $R_1=1,0, R_4=2,0$. Variabel bebas R_3 .



Gambar 11a. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_3 untuk $R_1=1, R_4=2,0, R_2=0,4$ dan R_3 bebas

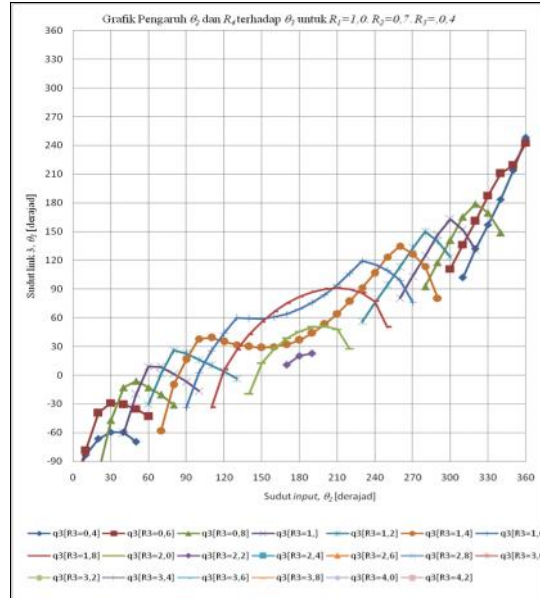


Gambar 11b. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_3 untuk $R_1=1, R_4=2,0, R_2=1,0$ dan R_3 bebas

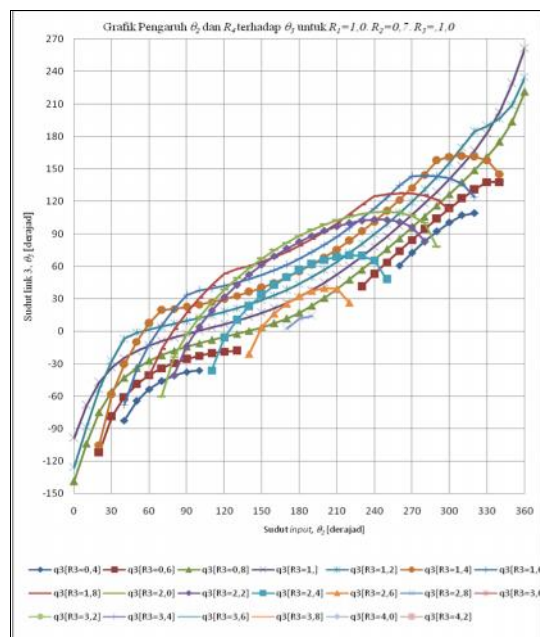


Gambar 11c. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_3 untuk $R_1=1, R_4=2,0, R_2=2,0$ dan R_3 bebas

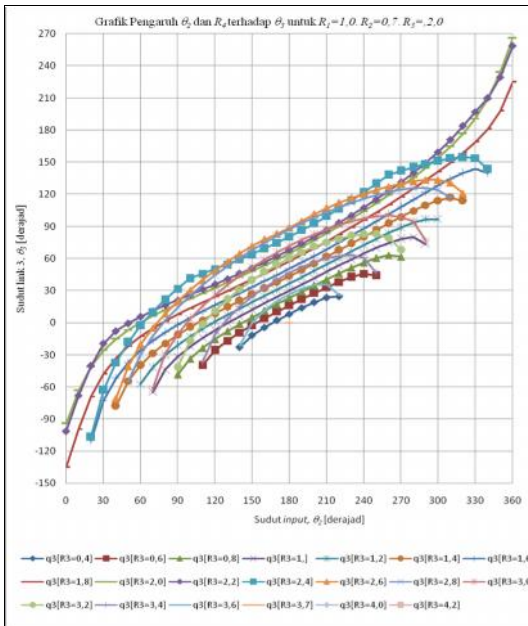
2. Untuk Variabel kontrol $R_4: 0,4 \leq R_4 \leq 2,0$.
Parameter $R_1=1,0, R_4=2,0$. Variabel bebas R_3 .



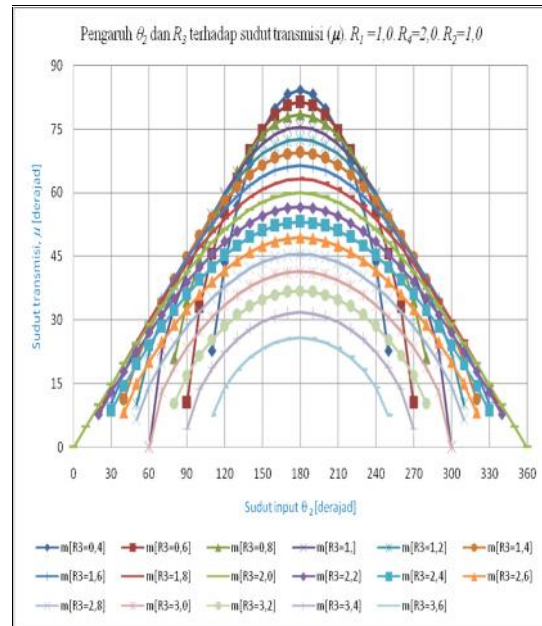
Gambar 12a. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_3 untuk $R_1=1, R_2=0,7, R_4=0,4$ dan R_3 bebas



Gambar 12b. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_3 untuk $R_1=1, R_2=0,7, R_4=1,0$ dan R_3 bebas



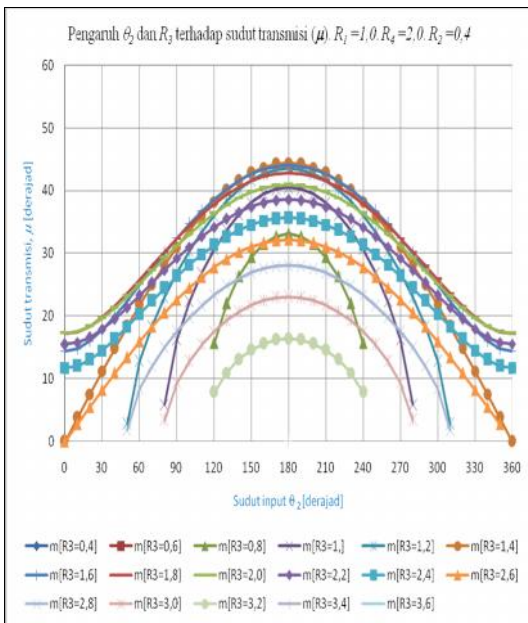
Gambar 12c. Grafik pengaruh θ_2 terhadap θ_3 untuk $R_1=1, R_2=0,7, R_4=2,0$ dan R_3 bebas



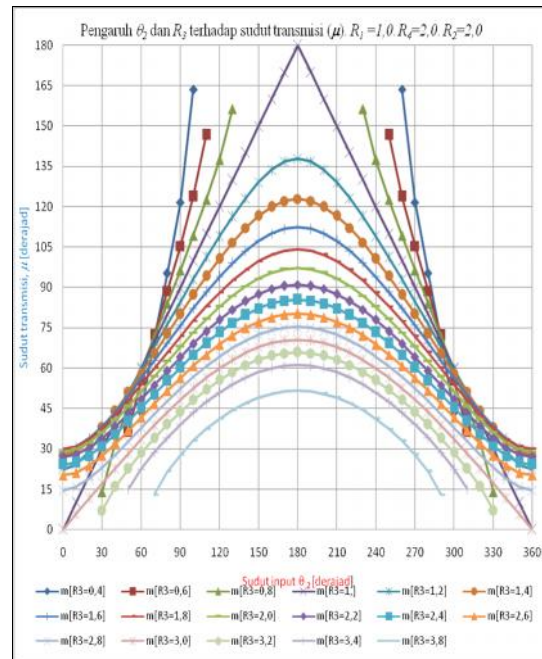
Gambar 13b. Grafik pengaruh θ_2 terhadap μ untuk $R_1=1, R_4=2,0, R_2=1,0$ dan R_3 bebas

Hasil Simulasi mekanisme 4 batang untuk sudut Transmisi, θ

1. Untuk Variabel kontrol R_2 : $0,4 \leq R_2 \leq 2,0$. Parameter $R_1=1,0, R_4=2,0$. Variabel bebas R_3

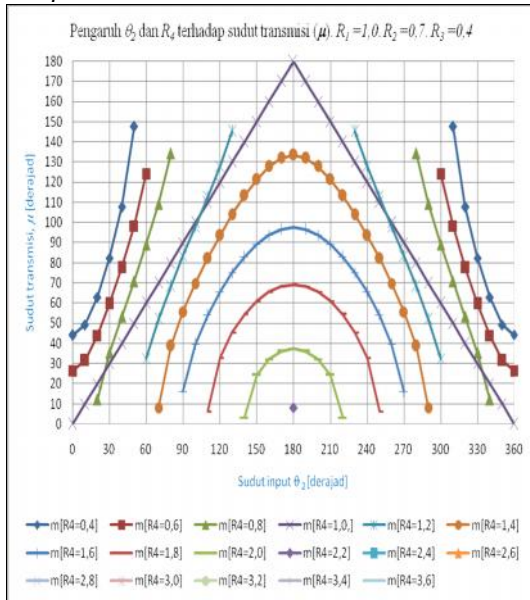


Gambar 13a. Grafik pengaruh θ_2 terhadap μ untuk $R_1=1, R_4=2,0, R_2=0,4$ dan R_3 bebas

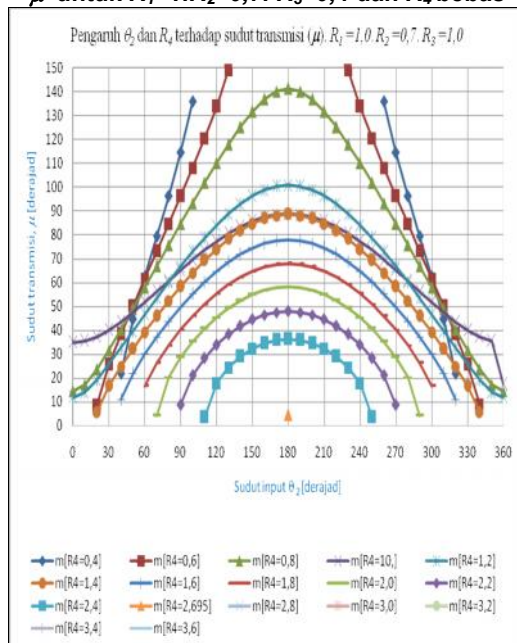


Gambar 13c. Grafik pengaruh θ_2 terhadap μ untuk $R_1=1, R_4=2,0, R_2=2,0$ dan R_3 bebas

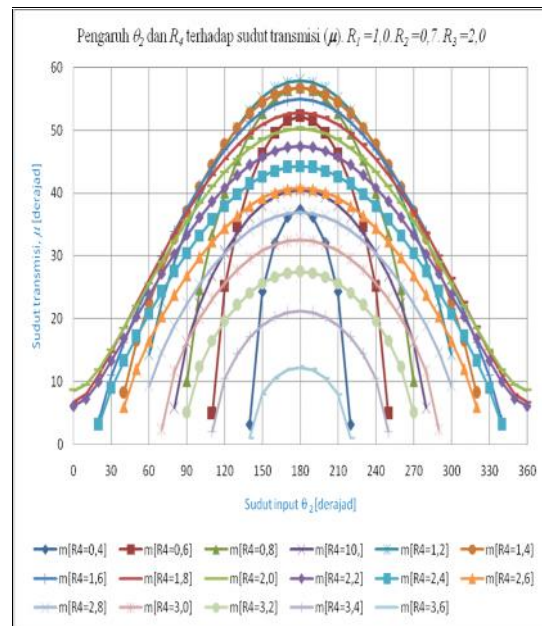
**2. Untuk Variabel kontrol R_3 : $0,4 \leq R_3 \leq 2,0$.
Parameter $R_1=1,0, R_2=0,7$. Variabel bebas R_4**



Gambar 14a. Grafik pengaruh θ_2 terhadap μ untuk $R_1=1,0, R_2=0,7, R_3=0,4$ dan R_4 bebas

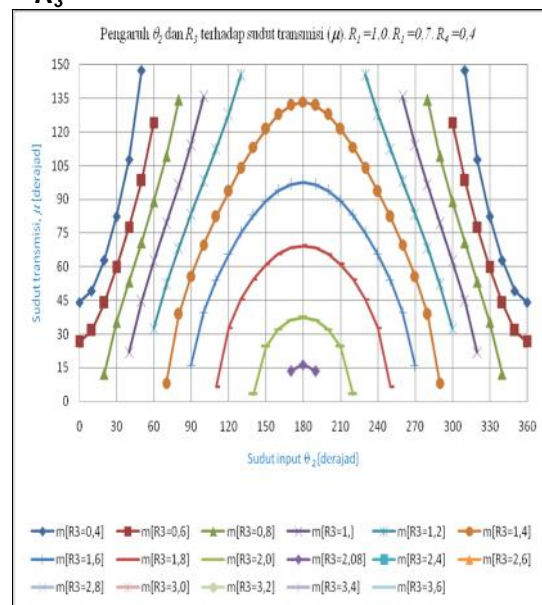


Gambar 14b. Grafik pengaruh θ_2 terhadap μ untuk $R_1=1,0, R_2=0,7, R_3=1,0$ dan R_4 bebas

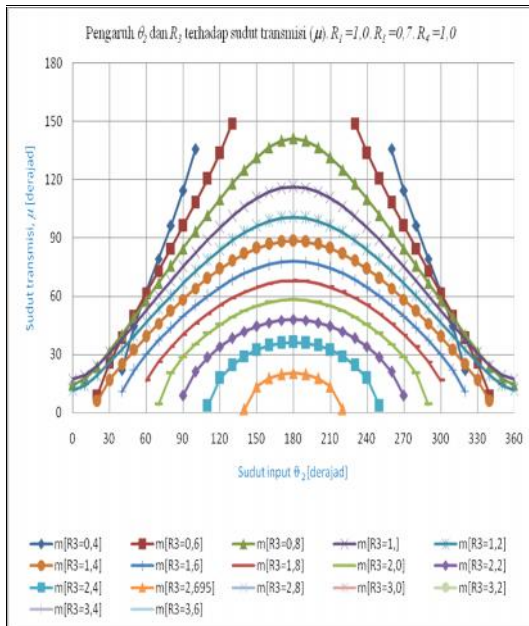


Gambar 14c. Grafik pengaruh θ_2 terhadap μ untuk $R_1=1,0, R_2=0,7, R_3=2,0$ dan R_4 bebas

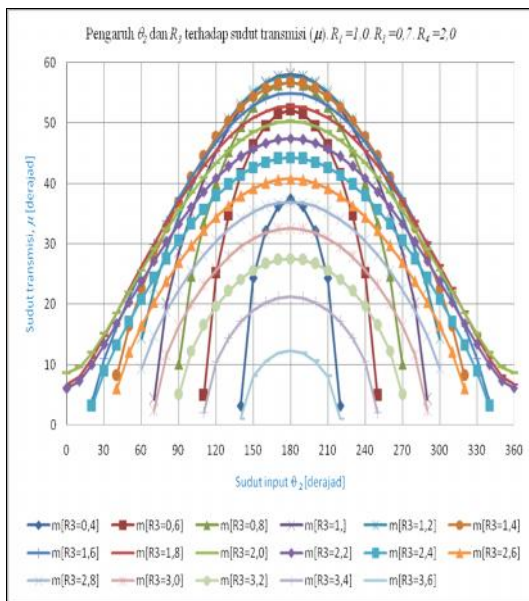
**3. Untuk Variabel kontrol R_4 : $0,4 \leq R_4 \leq 2,0$.
Parameter $R_1=1,0, R_2=0,7$. Variabel bebas R_3**



Gambar 15a. Grafik pengaruh θ_2 terhadap μ untuk $R_1=1,0, R_2=0,7, R_4=0,4$ dan R_3 bebas



Gambar 15b. Grafik pengaruh θ_2 terhadap μ untuk $R_1=1,0, R_2=0,7, R_4=1,0$ dan R_3 bebas



Gambar 15c. Grafik pengaruh θ_2 terhadap μ untuk $R_1=1,0, R_2=0,7, R_4=2,0$ dan R_3 bebas

Gambar 8a sampai 8e, menunjukkan untuk $R_1 = 1,0, R_4 = 2,0$, untuk $R_2 = 0,4$ dengan variasi θ_2 dan R_3 . Menunjukkan dua karakter gerak mekanisme. Ketika $1,4 < R_3 < 2,6$ adalah karakter *rocker-rocker* mekanisme, sedang $1,4 \leq R_3 \leq 2,6$ adalah *crank-rocker* mekanisme. Untuk $1,4 < R_3$

sudut output θ_4 cenderung meningkat dengan domain $120^\circ < \theta_4 < 210^\circ$, sedang $R_3 > 2,6$ menghasilkan dua domain θ_4 yaitu $0^\circ < \theta_4 < 90^\circ$, dan $270^\circ < \theta_4 < 360^\circ$. Semakin besar nilai R_2 maka θ_4 yang dihasilkan semakin besar, dengan laju (*rate of θ_4*) semakin curam dimana terjadi domain karakter gerak dari konvergen menjadi divergen untuk spektrum karakter gerak *crank rocker*.

Gambar 9a sampai 9d, menunjukkan untuk $R_1 = 1,0, R_2 = 0,7$; untuk $R_3 = 0,4$ dengan variasi θ_2 dan R_4 . Menunjukkan dua karakter gerak mekanisme. Ketika $R_4 = 0,1$ maka $s+l < p+q$ sehingga menghasilkan karakter gerak *crank rocker*. $0^\circ < \theta_4 < 360^\circ$, untuk $\theta_2 \leq 60^\circ, \theta_2 \geq 240^\circ$, *crank* di *link* 4, sedang untuk $R_4 > 0,1$ cenderung $s+l > p+q$, menghasilkan *rocker-rocker* mekanisme, dengan nilai θ_4 semakin besar.

Gambar 10a sampai 10d, menunjukkan untuk $R_1 = 1,0, R_2 = 0,7$; untuk $R_4 = 0,4$ dengan variasi θ_2 dan R_3 . Menunjukkan dua karakter gerak mekanisme. Ketika $R_3 = 0,7$ maka $s+l \leq p+q$ sehingga menghasilkan karakter gerak *crank rocker*. $0^\circ < \theta_4 < 360^\circ$, untuk $\theta_2 \leq 75^\circ, \theta_2 \geq 295^\circ$, *crank* di *link* 4, sedang untuk $0,7 < R_3 < 1,3$ cenderung $s+l > p+q$, menghasilkan *rocker-rocker* mekanisme, dengan nilai θ_4 semakin besar.

Gambar 11a sampai 12c, menunjukkan untuk $R_1 = 1,0, R_4 = 2,0$; untuk $0,4 < R_4 < 2,0$ dengan variasi θ_2 dan R_3 . Bahwa sudut coupler θ_3 tidak dapat menunjukkan hubungannya dengan karakter gerak, karena sebagai sudut relatif dimana semakin besar nilai R_4 semakin besar laju perubahan sudut θ_3 .

Gambar 13a sampai 13c, menunjukkan untuk , Grafik pengaruh θ_2 terhadap μ untuk $R_1 = 1,0, R_4 = 2,0$; $0,4 \leq R_2 \leq 2,0$ dan R_3 bebas, dengan meningkatnya R_2 , maka posisi titik mati untuk R_2+R_3 semakin panjang, karena itu operasional sudut θ semakin lebar, maksimum pada $R_2 = 2,0$ dan $R_1 = 1,0$ dengan maksimum $\theta = 180^\circ$ dan untuk setiap R_2 dengan semakin meningkatnya R_3 menghasilkan θ_2 yang cenderung parabolik, naik kemudian turun, dengan lebar yang menyempit.

Gambar 14a sampai 15c, menunjukkan untuk, Grafik pengaruh θ_2 terhadap μ untuk $R_1 = 1,0, R_2 = 0,7$. Serta $0,4 \leq R_4 \leq 2,0$ dan R_3

bebas, dengan meningkatnya R_4 , dalam posisi titik mati untuk setiap $R_2 + R_3$, karena itu operasional sudut θ semakin menyempit (domain μ mengecil), μ maksimum, cenderung turun dari nilai $\mu = 180^\circ$ namun spektrum bertambah lebar dengan semakin meningkatnya R_3 menghasilkan μ yang cenderung parabolik, naik kemudian turun, dengan domain semakin lebar.

KESIMPULAN

Untuk variabel kontrol pada *link input*, *link 2* bertambahnya nilai ratio dimensi *link 2*, R_2 , laju peningkatan sudut *output link 4* (θ_4) semakin cepat bertambah besar, dibandingkan dengan variasi variabel kontrol di *link 3* dan *link 4*. Variasi penambahan R_2 selalu menghasilkan sebuah domain kerja sudut *input* θ_2 terhadap sudut *output* θ_4 .

Lebar spektrum (berkas-berkas) kurva hubungan $\theta_2 - \theta_4$ pada $\theta_2 = 180^\circ$ untuk variasi R_2 lebih lebar daripada di R_3 dan R_4 , yaitu antara $30^\circ - 360^\circ$ dibandingkan $45^\circ - 315^\circ$ untuk nilai ratio $R_i = 2,0$. Sedang untuk nilai ratio $R_i = 0,4$ variasi dimensi *link 3* paling minimum.

Sudut *link 3*, θ_3 untuk variasi variabel kontrol R_2 menghasilkan domain θ_3 paling besar dibanding dengan R_3 dan R_4 , namun laju pertambahan nilai θ_3 untuk variabel kontrol R_4 paling besar dibandingkan dengan R_2 , dan R_3 .

Sudut transmisi θ , untuk semua variabel kontrol R_2 , R_3 dan R_4 menghasilkan grafik dari kurva dalam pola yang sama, yaitu polynomial yang cenderung mendekati parabolik. Untuk R_3 dan R_4 dengan meningkatnya ratio kurva bertransformasi dari dua domain menjadi satu domain, sedang R_2 bertransformasi sebaliknya. θ_{\max} pada $\theta_2 = 180^\circ$ tertinggi pada R_2 dan domain θ di R_2 juga paling besar.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Hamilton, H. Mabie, Charles F. Reinhultz., 1986: *Mechanisms and Dynamics of Machinery*, Fourth Edition, Virginia Polytechnic Institute and State University, John Wiley & Sons, New York, Chicester.

- [2] Akyurt, Mehmet., 1991, "Synthesis of Basic Linkages for Input-Output Coordination", *Journal of Islamic Academy of Sciences* 4:4, Departement of Mechanical Engineering, King Abdullaziz University, Jedah 21413, Saudi Arabia, 317-322,
- [3] Boyle W. P., K. Liu., 2005, "Dimensional Optimization for the Crank-Rocker Mechanism using TK Solver", *International Journal of Engineering*, Volume 15, No.6, p. Printed in Great Britain, Division of Engineering, Saint Mary University, Halifax, Nova Scotia, Canada, B3H 3C3, 417-425
- [4] Mehdigoll, Hamid., Saeed Akbarnejad., 2008, "Optimization of Watt's Six-bar Linkage to Generated Straight and Parallel Leg Motion", IN-TEH, Intehweb.com, *Journal of Humannoid*, Volume 1, ISSN 1006-7290, Sharif University of Technology, 11-16
- [5] Grosjean, Jacques., 2007, *Kinematics and Dynamics of Mechanisms*, McGraw-Hill Book Company, London.
- [6] Erdman, Arthur G., George N. Sandors, 1998, *Mechanism Design - Analysis and Synthesis*, Volume I, Printice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [7] Paul, Burton, 1978, *Kinematics and Dynamics of Planar Machinery*, Printice Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.