

ANALISIS GEOMETRI PADA ROBOT PENGGAMBAR DENGAN MEKANISME PANTOGRAF

Djoko Untoro Suwarno

Teknik Elektro

Universitas Sanata Dharma Yogyakarta

Kampus Paingan, Maguwoharjo, Sleman, Indonesia

Joko_unt@usd.ac.id

Abstrak

Pantograf merupakan mekanisme dengan 4 lengan yang saling terhubung membentuk jajaran genjang. Pantograf biasa digunakan untuk penskalaan gambar dan dapat dijumpai pada robot. Robot penggambar dapat menggunakan mekanisme pantograf. Analisis mekanisme pantograf dapat dilakukan secara geometri. Robot pantograf penggambar terdiri dari dua servo motor penggerak dan lengan yang saling terhubung. Servo motor berfungsi untuk menghasilkan sudut tertentu pada kedua lengan pantograf. Pada makalah ini akan dijabarkan analisis gerakan pantograf menggunakan hukum trigonometri dan dibuat algoritma untuk perhitungan kinematika maju dan kinematik balik. Implementasi algoritma perhitungan pantograf dilakukan dengan menggunakan software octave. Analisis gerakan yang dilakukan berupa jangkauan terdekat dan terjauh yang dapat dijangkau oleh pantograf. Pada analisis kinematika maju, variabel sudut diketahui dan dihitung koordinat yang terjadi, sedangkan pada analisis kinematika balik koordinat diketahui dan sudut dihitung. Pengujian dilakukan untuk gambar geometri tertentu dan sudut yang dibutuhkan. Kesalahan (error) yang terjadi pada koordinat disebabkan karena pembulatan perhitungan sudut

Kata Kunci: Analisis geometri; robot penggambar; dan mekanisme pantograf

1. PENDAHULUAN

Pantograf merupakan suatu mekanisme yang saling terkait (linkage) yang terdiri dari 4 ruas. Mekanisme pantograf pada mulanya digunakan untuk menskala suatu gambar [Weisstein, 2019]. Perkembangan mekanisme pantograf digunakan pada robot penggambar [Benjamin, 2006], pantograf sebagai mesin milling [Mahendra Verma; 2013 : 1-5], pantograf pada kaki robot [Kensuke TAIUTA; 2003 : 14-19]. Gerakan pantograf pada robot digerakkan oleh motor servo. Mekanisme pantograf digunakan pada robot penggambar dengan dua buah penggerak motor servo. Mekanisme pantograf memiliki gerak pada sistem koordinat kutub sedangkan gambar lebih mudah ditampilkan menggunakan sistem koordinat Cartesian. Perubahan sistem koordinat Cartesian menjadi koordinat kutub memerlukan beberapa tahap terutama bila ada ruas yang saling terkait.

2. MEKANISME PANTOGRAF PADA ROBOT PENGGAMBAR

Robot penggambar menggunakan mekanisme pantograf diperlihatkan pada Gambar 1. Robot penggambar memiliki ruas yang saling terkait

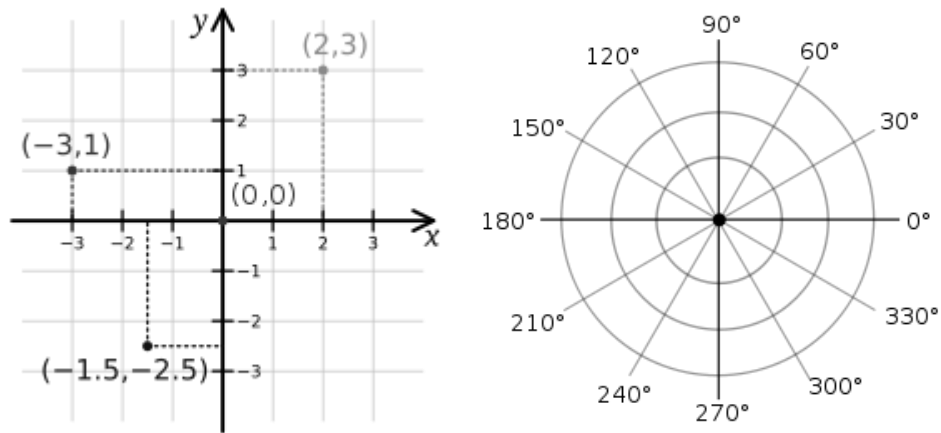
sebanyak 4 ruas. Dua ruas digerakkan melalui motor servo. Motor Servo merupakan motor elektrik yang dapat diatur sudut putarannya mulai dari 0° sampai 180° . Ruas yang digerakkan motor servo disambungkan dengan ruas yang terhubung dengan ruas yang digerakkan motor servo lainnya. Kedua ujung ruang diberi mekanisme untuk menempatkan pena. Posisi ujung pantograf merupakan fungsi dari sudut motor servo 1, sudut motor servo 2 dan panjang ruang L1, L2, L3, dan L4 serta jarak antar motor servo. Penentuan dan perhitungan posisi pena berdasarkan analisis geometri yang terbentuk pada ruas yang terkait (linkage). Penjabaran dan perhitungan titik ujung pantograf pada makalah ini berdasarkan Gianni [Gianni Campion; 2005: 723-728]



Gambar 1. Contoh mekanisme pantograf pada robot penggambar
(sumber Thingiverse Plotter/Drawbot Collection)

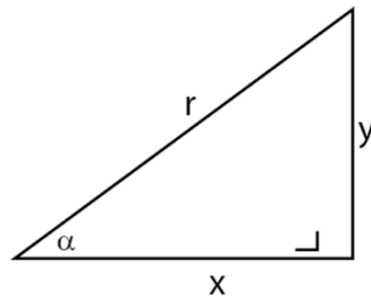
2.1. ANALISIS GEOMETRI PADA MEKANISME PANTOGRAF

Analisis geometri pada mekanisme pantograf berdasarkan hukum-hukum geometri yaitu perubahan koordinat Cartesian menjadi koordinat kutub seperti terlihat pada Gambar 1



Gambar 1. Sistem koordinat Cartesian (kotak) dan sistem koordinat kutub

Pengubahan sistem koordinat kutub menjadi koordinat kotak mengikuti persamaan (1)-(4)



$$x = R \cdot \cos(\alpha) \quad (1)$$

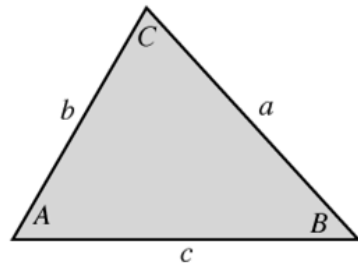
$$y = R \cdot \sin(\alpha) \quad (2)$$

$$R = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3)$$

$$\alpha = \text{atan}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (4)$$

Gambar 2. parameter pada sistem koordinat kutub dan sistem koordinat kotak

Aturan cosinus pada segitiga seperti pada gambar 4



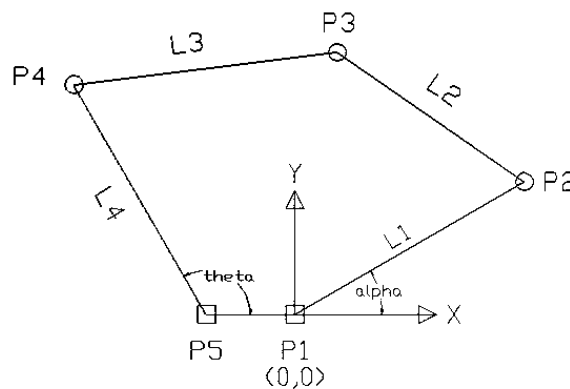
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos(C) \quad (5)$$

$$\cos(C) = \frac{c^2 - a^2 - b^2}{2ab} \quad (6)$$

Gambar 3. Aturan cosinus pada segitiga

Menurut aturan cosinus, sudut yang berhadapan dengan suatu sisi dapat dihitung menggunakan kedua sisi yang lain seperti terlihat pada persamaan (5) sedangkan perhitungan sudut C menggunakan persamaan (6).

Mekanisme Pantograf terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme pantograf

Pantograf dengan parameter ruas L_1, L_2, L_3 dan L_4 , serta jarak antara P_1 dan P_5 .

Perhitungan maju pada pantograf yaitu perhitungan titik ujung pena P_3 berdasarkan sudut ruas L_1 dan sudut ruas L_4 .

Dengan parameter sebagai berikut

- L_1 merupakan panjang ruas yang menghubungkan titik P_1 dan P_2
- L_2 merupakan panjang ruas dari titik P_2 menuju P_3
- L_3 merupakan panjang ruas antara titik P_3 menuju P_4
- L_4 merupakan panjang ruas yang menghubungkan P_4 dan P_5
- L_5 merupakan jarak antara P_1 dan P_5

Koordinat P_2 dihitung menggunakan persamaan (7) dan (8)

$$x_2 = L_1 \times \cos(\alpha) \quad (7)$$

$$y_2 = L_1 \times \sin(\alpha) \quad (8)$$

Koordinat P_4 dihitung menggunakan persamaan (9) dan (10) berikut

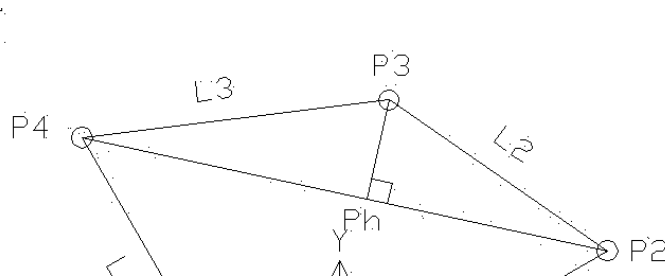
$$y_4 = L_4 \times \sin(\theta) \tag{9}$$

$$x_4 = L_4 \times \cos(\theta) - L_5 \tag{10}$$

panjang garis P_2 sampai P_4 dihitung menggunakan persamaan (11)

$$|P_2 - P_4| = P_{24} = \sqrt{(x_2 - x_4)^2 + (y_2 - y_4)^2} \tag{11}$$

Titik ujung P_3 dihitung menggunakan metode perhitungan sebagai berikut



Gambar 5. Perhitungan koordinat pena P_3

Setengah jarak antara titik P_2 dan P_4 yaitu pada titik P_h seperti terlihat pada Gambar 5 dihitung menggunakan persamaan (12) yaitu prinsip aturan cosinus sebagai berikut

$$|P_2 - P_h| = P_{2ph} = \frac{L_2^2 - L_3^2 + P_{24}^2}{2 \cdot P_{24}} \tag{12}$$

Koordinat titik tengah P_h dihitung menggunakan persamaan (13) dan (14)

$$y_h = y_2 + \left(\frac{P_{2ph}}{P_{24}}\right) \cdot (y_4 - y_2) \tag{13}$$

$$x_h = x_2 + \left(\frac{P_{2ph}}{P_{24}}\right) \cdot (x_4 - x_2) \tag{14}$$

Panjang garis antara titik tengah P_2 dan P_4 dengan titik P_3 dihitung menggunakan persamaan berikut ini

$$|P_3 - P_h| = P_{3h} = \sqrt{L_2^2 - P_{2h}^2} \tag{15}$$

koordinat P_3 dihitung menggunakan persamaan (16) dan (17)

$$x_3 = x_h + \left(\frac{P_{3h}}{P_{24}}\right) \cdot (y_4 - y_2) \tag{16}$$

$$y_3 = y_h + \left(\frac{P_{3h}}{P_{24}}\right) \cdot (x_4 - x_2) \tag{17}$$

Perhitungan balik pada Pantograf

Perhitungan balik pada pantograf yaitu penentuan sudut pada servo 1 dan servo 2 sebagai akibat posisi P₃. Perhitungan balik pada pantograf dilakukan dengan membagi pantograf menjadi 3 buah segitiga seperti terlihat pada Gambar 6.

Persamaan garis antara titik P₁ dan P₃ dihitung menggunakan persamaan (18)

$$|P_1 - P_3| = L_{13} = \sqrt{x_3^2 + y_3^2} \tag{18}$$

Persamaan garis antara titik P₃ dan P₅ dihitung menggunakan persamaan (19)

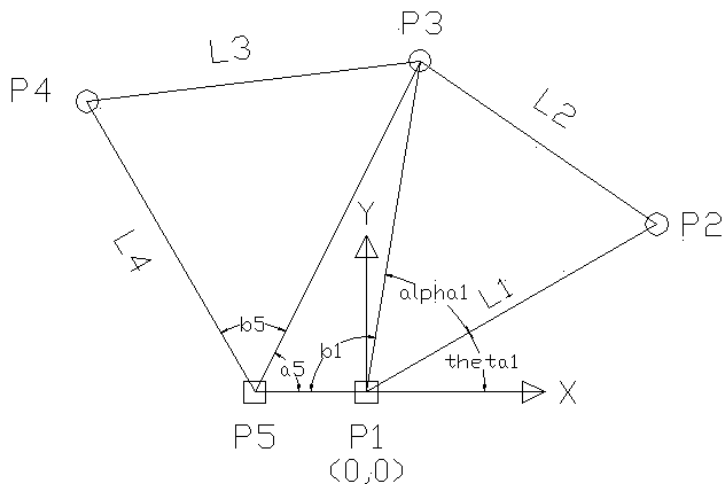
$$|P_5 - P_3| = L_{53} = \sqrt{(x_3 + L_5)^2 + y_3^2} \tag{19}$$

Dengan L₅ merupakan jarak antara P₁ dan P₅, sudut α₁, β₁, θ₁ dihitung berdasarkan persamaan(20), (21), (22)

$$\alpha_1 = a \cos \left(\frac{L_1^2 + L_{13}^2 - L_2^2}{2 \cdot L_1 \cdot L_{13}} \right) \tag{20}$$

$$\beta_1 = \text{atan} \left(\frac{y_3}{-x_3} \right) \tag{21}$$

$$\theta_1 = \pi - \alpha_1 - \beta_1 \tag{22}$$



Gambar 6. Perhitungan balik pada pantograf

Perhitungan sudut pada P₅ meliputi perhitungan α₅, β₅, θ₅ menggunakan persamaan (23), (24), (25)

$$\alpha_5 = \text{atan} \left(\frac{y_3}{x_3 + L_5} \right) \tag{23}$$

$$\beta_5 = \arccos\left(\frac{L_5^2 + L_4^2 - L_3^2}{2 \cdot L_5 \cdot L_4}\right) \quad (24)$$

$$\theta_5 = \alpha_5 + \beta_5 \quad (25)$$

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dari uraian analisis geometri pantograf, sudut yang dihasilkan oleh servo 1 yaitu sudut α_1 dan sudut θ_5 mempengaruhi posisi P3 yang terjadi. Sudut yang dapat dibentuk oleh motor servo memiliki jangkauan 0° sampai 180° dengan resolusi 1° . Sudut dari perhitungan bisa mencapai ketelitian yang cukup presisi sedangkan pada pelaksanaannya resolusi tergantung dari motor penggerak.

Dengan diuraikan langkah-langkah perhitungan secara rinci akan memudahkan dalam membuat algoritma untuk robot penggambar. Perhitungan bisa dilakukan dengan menggunakan program komputasi seperti excel, matlab dsb.

Mekanisme pantograf mudah diimplementasikan menjadi robot penggambar. Mekanisme pantograf membutuhkan 4 ruas dan 2 motor penggerak servo, bisa dikembangkan dengan menambahkan motor penggerak pengangkat pena. Analisis pantograf bisa dipakai untuk menambah wawasan siswa tentang aplikasi pantograf.

4. SIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu (1). Mekanisme pantograf dapat diuraikan dengan analisis geometri menggunakan aturan-aturan dasar geometri, (2). Perhitungan maju pada pantograf yaitu penentuan titik ujung pantograf dengan memberikan sudut penggerak L_1 dan L_4 , (3). Perhitungan balik pada pantograf yaitu menentukan sudut sudut pada penggerak L_1 dan L_2 terhadap titik ujung pena P₃, (4). Langkah-langkah perhitungan pantograf dapat dibuat menjadi algoritma yang dipakai robot untuk menggambar sesuatu, dan [5.] Mekanisme pantograf dapat memberikan wawasan aplikasi pantograf pada peralatan tertentu seperti penskala gambar, robot penggambar, robot kaki.

5. DAFTAR PUSTAKA

Benjamin Stephens, (2006), "*Design and Control of a Pantograph Robot*", http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Design_and_Control_of_a_Pantograph_Robot diakses 14 Januari 2019

Gianni Campion, Qi Wang, and Vincent Hayward,, "*The Pantograph Mk-II: A Haptic Instrument*", Proc. IROS, (2005), IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp. 723-728.

Kensuke TAIUTA, Toshio KATAYAMA, Shigeo HIROSE, (2003), *Development of Dinosaur-Like Robot TITRUS-The Efficacy of the Neck and Tail of Miniature Dinosaur-like Robot TITRUS II*, Proceedings of the 2003 IEEE International Conference On Robotics & Automation Taipei, Taiwan, September 14-19,2003

Mahendra Verma, Abrar Ahmad, Niyazul S Haque, Sahil L Mallick, Ishank Mehta, R. K. Tyagi, (2013), *The Mechanism and Kinematics of a Pantograph Milling Machine* European Journal of Applied Engineering and Scientific Research, , 2 (3):1-5

Weisstein, Eric W. "*Pantograph*." From MathWorld--A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/Pantograph.html> diakses 10 Februari 2019