

Klinostat Tiga Dimensi sebagai Simulator Mikrogravitasi untuk Berbagai Eksperimen Tanpa Bobot

I.W Fathona, A. Surachman, F. Iskandar, dan ¹Khairurrijal
Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa 10, Bandung 40132
krijal@fi.itb.ac.id

Received date : 10 Desember 2010

Accepted date : 20 Februari 2011

Abstrak

Sebuah klinostat tiga dimensi (3-D) telah dirancang untuk menyediakan sebuah lingkungan dengan gravitasi sangat kecil (mikrogravitasi) bagi berbagai percobaan tanpa bobot. Besarnya gravitasi berhubungan dengan kecepatan sudut dari perputaran klinostat tersebut. Dua buah rangka berbentuk segi empat diputar pada sumbu rotasi y-z dengan menggunakan dua motor DC dan kecepatannya diatur oleh mikrokontroler AT89S52 dengan menggunakan prinsip *pulse width modulation* (PWM). Alat ini telah diuji selama 8 jam tanpa henti untuk berbagai kecepatan sudut di bawah 17 rpm (*rotation per minute*). Telah didapatkan bahwa alat ini berfungsi dengan baik.

Kata kunci: *gaya sentrifugal, kecepatan sudut, klinostat, mikrogravitasi, rotasi.*

Abstract

A three-dimensional (3-D) clinostat has been designed to provide an environment with very small gravity (microgravity) for weightless experiments. The obtained gravity is closely related to the angular speed of the clinostat rotation. Two rectangular frames are rotated by employing two DC motors around the y-z rotation axis and its angular speed is controlled by an AT89S52 microcontroller using the pulse width modulation (PWM) technique. Eight-hour continuous operations have been done for various angular speeds below 17 rpm. It has been found that the clinostat functions well.

Keywords: *angular velocity, centrifugal force, clinostat, microgravity, rotation.*

1 Pendahuluan

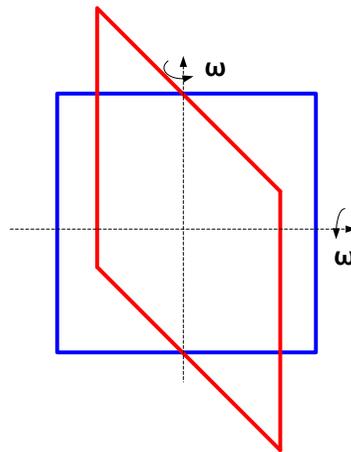
Klinostat dibangun dengan maksud menciptakan sebuah lingkungan dengan gravitasi mendekati nol. Pada awal perkembangannya alat ini digunakan untuk meneliti pertumbuhan tanaman dalam lingkungan mikrogravitasi dan saat ini sudah merambah ke penelitian tingkat sel [1]. Dengan menggunakan prinsip rotasi, sampel biologis yang diletakkan pada sebuah rangka putar akan mengalami gravitasi mendekati nol dan akan merespon hal tersebut dengan menunjukkan beberapa ciri pada pertumbuhannya. Simulator lingkungan mikrogravitasi tersebut terdiri dari dua buah rangka segi empat yang disatukan dan diputar pada sumbu y dan z dengan menggunakan motor DC. Kecepatan putar berhubungan dengan besarnya gravitasi dan memenuhi persamaan gaya sentrifugal [1][2]. Metode *pulse width modulation* (PWM) digunakan untuk mengatur kecepatan putar pada motor DC dengan cara mengatur *duty cycle*, yaitu lamanya waktu *on* dan *off* dari motor DC tersebut, sehingga daya yang diberikan sebanding dengan kecepatan putar [3].

Dalam beberapa makalah sebelumnya dikatakan bahwa kecepatan putar dibuat tidak konstan untuk menghindari terjadinya adaptasi sampel terhadap gerak yang monoton ketika kecepatan putarnya konstan [2]. Namun pada makalah ini kecepatan putar dibuat konstan untuk mendapatkan gravitasi yang kecil mendekati nol dan menghindari terjadinya gaya fiktif selain gaya sentrifugal. Hubungan antara gravitasi dan kecepatan putar telah

diturunkan dan memenuhi persamaan gaya sentrifugal. Penentuan kecepatan putar untuk menciptakan mikrogravitasi dilakukan dengan menggunakan persamaan gaya sentrifugal dan dalam makalah ini kami melaporkan klinostat yang diputar dengan kecepatan 17 rpm (*rotation per minute*) untuk mendapatkan gravitasi dalam orde 10^{-3} (mikrogravitasi).

2 Teori untuk Menghasilkan Mikrogravitasi

Analisis pergerakan klinostat didasarkan pada mekanika klasik mengenai rotasi dan kerangka non-inersia [4]. Rotasi dari klinostat menimbulkan gaya fiktif karena terdapat kerangka koordinat sistem yang diputar dan kerangka koordinat yang diam. Kedua kerangka klinostat diputar dengan kelajuan sudut yang sama dengan sumbu putar, yang digambarkan sebagai garis putus-putus seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

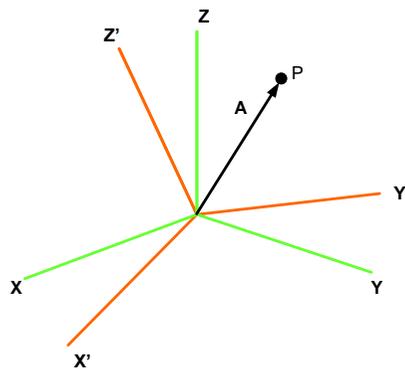


Gambar 1 Klinostat 3D yang dibangun dengan dua rangka,yaitu rangka dalam dan rangka luar; keduanya diputar dengan kecepatan sudut ω

Pada suatu kerangka koordinat sistem yang diputar berlaku Persamaan (1).

$$F' = F - F_{Cent} - F_{Cor} - F'' \quad (1)$$

Dengan F merupakan gaya relatif terhadap kerangka acuan yang diam, F' gaya relatif terhadap kerangka acuan berputar yaitu dua buah rangka klinostat, F_{cent} merupakan gaya sentrifugal, F'' gaya yang diakibatkan oleh perubahan kecepatan putar terhadap waktu dan F_{cor} adalah gaya Coriolis yang ditimbulkan ketika partikel bergerak pada kerangka yang diputar. Penurunan persamaan (1) dianalogikan dengan dua buah kerangka koordinat dimana XYZ merupakan kerangka yang diam dan X'Y'Z' kerangka yang diputar ditunjukkan pada Gambar 2. Titik nol dari kedua kerangka koordinat ini berhimpit. Misalkan kerangka X'Y'Z' bergerak dengan kecepatan sudut konstan ω dan kita tempatkan sebuah partikel pada titik P dan vektor A .



Gambar 2 Kerangka koordinat acuan XYZ yang diam dan X'Y'Z' yang diputar

Dengan menerapkan beberapa kondisi pada klinostat maka beberapa gaya fiktif akan menghilang atau nol sehingga gaya fiktif yang masih berlaku ialah gaya sentrifugal. Gaya koriolis F_{cor} akan nol karena partikel tidak bergerak terhadap kerangka koordinat yang diputar; F'' gaya yang diakibatkan oleh perubahan kecepatan putar Kerangka koordinat akan nol karena kecepatan putar ω dibuat tetap; dan kita asumsikan tidak ada gaya gesek ataupun pengaruh gaya dari luar sehingga F sama dengan nol. Dengan demikian gaya yang dialami partikel hanya gaya fiktif sentrifugal yang mengarah menjauhi sumbu putar secara radial dengan besar sebagai berikut.

$$F_{cent} = m\omega^2 r \quad (2)$$

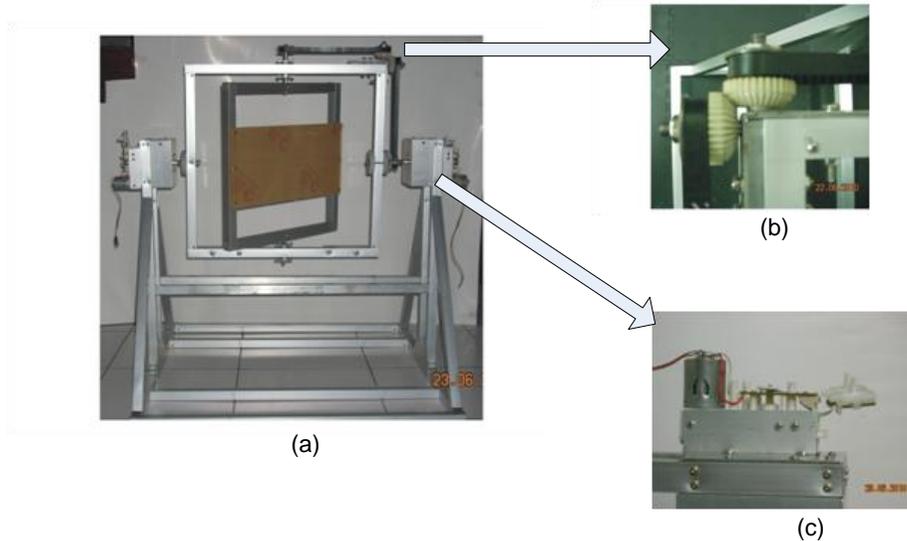
dengan m adalah massa dan r adalah jejari. Karena kuantitas jejari dan percepatan yang diinginkan diketahui, maka kita dapat menentukan kecepatan sudut pada motor DC sehingga sampel yang diletakkan pada klinostat akan mengalami percepatan jauh lebih kecil daripada percepatan gravitasi bumi. Kecepatan motor DC diatur dengan menerapkan metode PWM, yaitu pengaturan pemberian daya pada motor dengan mengatur waktu motor *off* dan *on*, atau disebut pengaturan *duty cycle* D.

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} 100\% \quad (3)$$

dengan T_{on} adalah waktu motor *on* dan T_{off} adalah waktu motor *off*. Pengaturan ini dilakukan oleh mikrokontroler dengan cara memberikan kondisi digital 0 dan 1 pada motor DC selama waktu tertentu sesuai dengan perhitungan *duty cycle* D di persamaan (3).

3 Rancang Bangun Klinostat 3-D

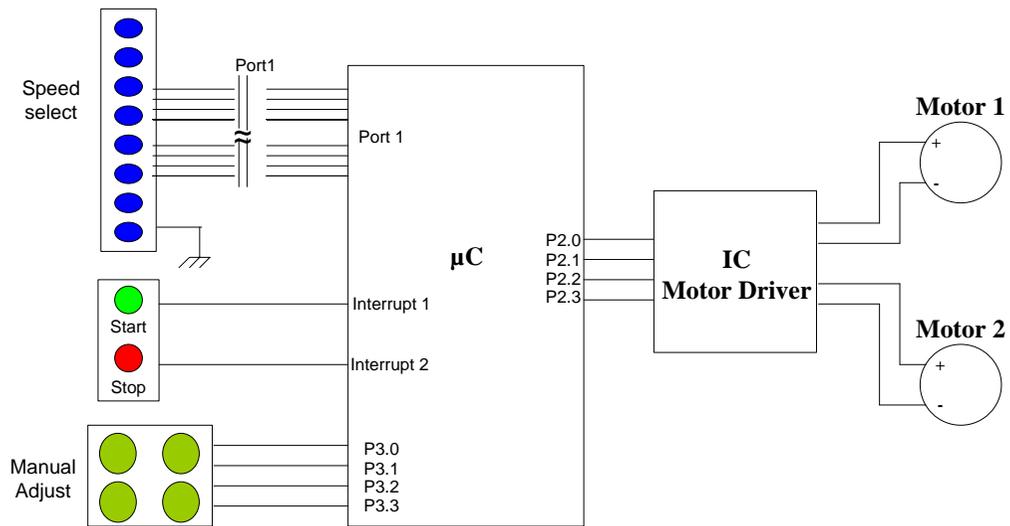
Klinostat terdiri dari dua buah rangka berputar: rangka A dan B, dengan ukuran rangka A yang lebih besar dibandingkan rangka B, seperti diberikan dalam Gambar 3. Rangka B ditempatkan dan diputar di dalam rangka A sehingga sumbu rotasi rangka B berputar seiring dengan perputaran rangka A. Hal ini dimaksudkan agar vektor percepatan sentrifugal mengarah ke segala arah dalam ruang tiga dimensi. Poros putar rangka A ditopang oleh sebuah rangka tetap dan diputar oleh Motor 1. Rangka B diputar oleh Motor 2 melalui dua buah *gear belt* dan roda gigi payung yang saling tegak lurus satu sama lainnya.



Gambar 3 (a) klinostat yang dibangun; (b) Dua gigi payung sebagai penghubung pada daerah siku-siku rangka; (c) Motor gear dc yang ditempatkan di kiri dan kanan rangka luar

Gambar 4 merupakan diagram perangkat keras yang mengendalikan klinostat. Sebuah mikrokontroler AT89S52 (μC) sebagai pusat pengendalinya. Kecepatan putar klinostat bisa diset dengan menekan saklar *push button* pada bagian *Speed select*. Dengan menggunakan port 1, instruksi pemilihan kecepatan putar diterima mikrokontroler tersebut. Terdapat delapan kecepatan yang bisa dipilih, mulai dari 3 rpm sampai maksimum 17 rpm. Setiap saklar dari *Speed select* menentukan waktu motor *on* (T_{on}) dan *off* (T_{off}), yang sudah dihitung sebelumnya. Untuk menghentikan dan melanjutkan perputaran, dua tombol yaitu *Start* dan *Stop* diterapkan. Dua kanal interupsi dari mikrokontroler tersebut digunakan untuk keperluan ini. Tombol *Manual adjust* digunakan untuk mengatur posisi rangka dalam dan rangka luar secara manual dengan memanfaatkan port 3 dari mikrokontroler tersebut. Untuk menggerakkan rangka luar dan dalam, motor DC 12 volt dengan arus maksimum sekira 5 A digunakan. Rangka luar langsung dihubungkan ke poros putar dua motor DC (Motor 1 dan Motor 2), sedangkan rangka dalam terhubung ke motor melalui perantara gigi payung dan dua buah *gear belt* seperti dijelaskan dalam Gambar 4. Pemasangan gigi payung dan *gear belt* harus presisi agar mendapatkan pergerakan yang halus. Pengaturan *duty cycle* D dilakukan oleh mikrokontroler AT89S52 dan sebuah *motor driver* diterapkan sebagai antar muka mikrokontroler tersebut dan kedua motor DC tersebut. Port 2 digunakan untuk keperluan antar muka tersebut.

Klinostat yang telah dibangun tersebut kemudian diuji seluruh fungsinya. Pengujian selama 8 jam tanpa henti untuk berbagai kecepatan sudut di bawah 13 rpm telah dilakukan berulang kali. Telah didapatkan bahwa alat ini berfungsi dengan baik.



Gambar 4 Diagram perangkat keras elektronika klinostat

4 Kesimpulan

Klinostat tiga dimensi (3D) telah dirancang berdasarkan gerak rotasi dari kerangka koordinat sistem. Untuk menghasilkan mikrogravitasi, dari perhitungan ditunjukkan bahwa klinostat diputar dengan kecepatan sudut di bawah 17 rpm. Dua rangka segi empat yang dapat berputar digunakan untuk menghasilkan gerakan tiga dimensi. Untuk mengendalikan gerakan kedua rangka tersebut digunakan sebuah mikrokontroler AT89S52. Kecepatan putar diatur menggunakan teknik *pulse width modulation* di mana waktu *on* dan *off* kedua motor tersebut diset oleh mikrokontroler tersebut. Dari pengujian operasi 8 jam tanpa henti untuk berbagai kecepatan putar, ditunjukkan bahwa klinostat berfungsi dengan baik dan karena itu dapat digunakan untuk menghasilkan lingkungan dengan mikrogravitasi bagi berbagai eksperimen tanpa bobot.

5 Referensi

- [1] van Loon, J. J. W. A., Some History and Use of The Random Positioning Machine, RPM, in Gravity Related Research, Advances in Space Research, vol. 39, hh. 1161-1165, 2007.
- [2] Borst, A. G. & van Loon, J. J. W. A., Technology and Development for the Random Positioning Machine, RPM, Microgravity Science & Technology, vol. 21, hh. 287-292, 2009.
- [3] Wobschall, D., Circuit Design for Electronic Instrumentation, McGraw-Hill, USA, 1987.
- [4] Arya, A. P., Introduction to Classical Mechanics, 2nd Ed., Prentice Hall, New Jersey, 1998.
- [5] Boas, M. L., Mathematical Methods in the Physical Sciences, Wiley, New York, 1983.