

# SIMULASI KINEMATIKA MEKANISME LENGAN *BACKHOE* *EXCAVATOR*

Ginanjar Mustofa<sup>1)</sup>, Stenly Tangkuman<sup>2)</sup>, Hengky Luntungan<sup>3)</sup>

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi  
Jln. Kampus UNSRAT, Manado

## ABSTRAK

Pada era modern seperti sekarang ini dibutuhkan metode perhitungan cepat dan efisien yang biasanya dilakukan dengan metode simulasi. Perangkat lunak yang digunakan pada simulasi ini yaitu SolidWorks 2016. SolidWorks merupakan *parasolid* yang berbasis *solid modelling*, dan menggunakan pendekatan berbasis fitur-parametrik untuk membuat model dan *assembly* atau perakitan. Parameter mengacu pada pembatasan yang bernilai menentukan bentuk atau geometri dari model.

Berdasarkan hal tersebut pada penelitian ini akan dilakukan simulasi kinematika, dimana hasil dari simulasi meliputi keseluruhan *workspace* pada lengan ekskavator. Objek pada penelitian adalah mekanisme lengan *Backhoe Excavator* merek Hitachi seri ZX tipe ZX-200. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kecepatan, percepatan tangensial, dan percepatan normal pada mekanisme lengan ekskavator.

Kecepatan maksimum batang *boom* adalah 2948.82 mm/s yang terjadi pada saat sudut batang *boom* berada pada  $16.64^\circ$  ( $t = 3.83s$ ) atau pada sudut minimum *workspace*. Hasil simulasi kecepatan *boom* juga telah divalidasi dengan *hand calculation*. Percepatan tangensial maksimumnya  $2430.12 \text{ mm/s}^2$ , dan percepatan normal maksimumnya  $3705.11 \text{ mm/s}^2$ . Kecepatan maksimum batang *arm* adalah 1778.06 mm/s yang terjadi pada saat sudut batang *arm* berada pada  $140.86^\circ$  ( $t = 0s$ ), percepatan tangensial maksimumnya  $4594.03 \text{ mm/s}^2$ , dan percepatan normal maksimumnya  $6665.24 \text{ mm/s}^2$ . Kecepatan maksimum batang *bucket* adalah sebesar 473.61 mm/s, percepatan tangensial maksimumnya  $90.09 \text{ mm/s}^2$ , dan percepatan normal maksimumnya  $297.89 \text{ mm/s}^2$ .

Kata kunci : Analisis Kinematika, Lengan Ekskavator, Hitachi ZX-200.

## ABSTRACT

*In the modern era as now required a fast and efficient calculation method which is usually done by simulation method. The software used in this simulation is SolidWorks 2016. SolidWorks is a parasolid based solid modeling, and uses a parametric-based approach to modeling and assembly. Parameters refer to restrictions that are valuable to determine shape or geometry of the model.*

*Based on this in this research will be kinematics simulation, where the result of simulation covering the whole workspace on excavator arm. The object research is a Backhoe Excavator arm mechanism of Hitachi ZX-type ZX-200. The purpose of this study was to determine velocity, tangential acceleration, and normal acceleration in excavator arm mechanism.*

*The maximum velocity of boom bar is 2948.82 mm/s which occurs when the boom angle is at  $16.64^\circ$  ( $t = 3.83s$ ) or at the minimum angle of the workspace. The boom velocity simulation results have also been validated by hand calculation,*

*maximum tangential acceleration is 2430.12 mm/s<sup>2</sup>, and the maximum normal acceleration is 3705.11 mm/s<sup>2</sup>. The maximum velocity of arm shaft is 1778.06 mm/s which occurs when the angle of arm rod is at 140.86°, maximum tangential acceleration is 4594.03 mm/s<sup>2</sup>, and the maximum normal acceleration is 6665.24 mm/s<sup>2</sup>. The maximum velocity of bucket rod is 473.61 mm/s, maximum tangential acceleration is 90.09 mm/s<sup>2</sup>, and maximum normal acceleration is 297.89 mm/s<sup>2</sup>.*

**Keywords:** *Kinematic Analysis, Arm Excavator, Hitachi ZX-200.*

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam analisis kinematika mencakup kecepatan dan percepatan yang terjadi pada batang sendi. Analisis kecepatan mempengaruhi waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan sesuatu pekerjaan yang diberikan, sebagai contoh : pembuatan suatu suku cadang. Daya (power) merupakan hasil kali antara gaya dengan kecepatan. Jadi untuk pemindahan (transmisi) dari sejumlah daya yang ditentukan, gaya dan tegangan dalam berbagai batang penghubung dari sebuah mekanisme dapat dikurangi dengan mengubah kecepatan melalui perubahan ukuran dari pada batang penghubungnya. Gesekan dan kerusakan pada bagian mesin tergantung juga pada kecepatan. Untuk itu dibutuhkan penentuan kecepatan dalam sebuah mekanisme, jika analisis tentang percepatan harus dilakukan (Martin, 1982). Analisis percepatan telah

menunjukkan bahwa dalam suatu mekanisme yang penghubung-penghubungnya bergerak, terdapat percepatan-percepatan tertentu, yang dapat ditentukan. Hukum Newton ke dua berbunyi Percepatan sebuah benda berbanding lurus dengan gaya total yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya. Arah percepatan sama dengan arah gaya total yang bekerja padanya. Pada umumnya batang-batang hubung akan mendapatkan gaya statis dan gaya inersia.

Pada penelitian dari Devi Yulianto (2014) yaitu Analisis Kinematis Lengan *Excavator* Keihatsu 921C. Dalam penelitian tersebut hanya menganalisis kinematika yang dilakukan pada posisi *workspace* tertentu saja dan dikerjakan dengan metode perhitungan manual. Pada era modern seperti sekarang ini dibutuhkan metode perhitungan cepat dan efisien yang biasanya dilakukan dengan metode simulasi. Berdasarkan

hal tersebut pada penelitian ini akan dilakukan analisis kinematika dengan menggunakan simulasi dan hasil dari simulasi juga meliputi keseluruhan *workspace* pada lengan ekskavator.

Dengan melakukan simulasi kinematika mekanisme lengan *backhoe excavator*, dapat diketahui kecepatan dan percepatan pada mekanisme lengan ekskavator sekaligus memastikan bahwa mekanisme tersebut bergerak sesuai dengan ilmu mekanika.

### 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi kecepatan dan percepatan yang terjadi pada mekanisme lengan ekskavator.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah yang pertama membuat simulasi kinematika mekanisme lengan *backhoe excavator* dengan menggunakan *software*. Dan tujuan yang kedua untuk mengetahui kecepatan, percepatan tangensial, dan percepatan normal pada mekanisme lengan ekskavator. Sehingga ke depannya dalam perancangan

kembali, lebih merujuk pada hal-hal ini.

### 1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini untuk mendapatkan hasil yang terarah, maka akan diberi batasan-batasan permasalahan. Batasan masalah yang pertama adalah mekanisme lengan ekskavator yang akan dihitung yaitu *backhoe excavator* HITACHI ZX-200. Batasan masalah yang kedua, perhitungan kecepatan dan percepatan dengan metode gerak relatif. Untuk batasan masalah yang ketiga, guna mempermudah perhitungan maka pada penelitian ini digunakanlah *software SolidWorks* 2016 sebagai sarana dalam menyelesaikan penelitian.

### 1.5 Manfaat Penelitian

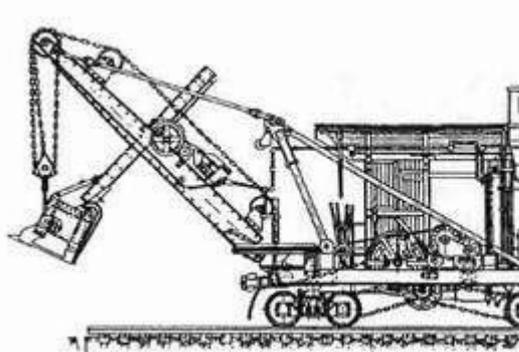
Manfaat dari penelitian ini adalah yang pertama dapat mengetahui pada posisi *workspace* mana kecepatan dan percepatan tersebut lebih besar. Manfaat yang kedua setelah penelitian ini selesai, dapat menjadi tolok ukur pada perancangan ekskavator. Dan manfaat yang ketiga adalah operator *backhoe excavator* HITACHI ZX-200 dapat

mengetahui pada posisi *workspace* tertentu ekskavator dapat mengangkat beban lebih maksimal.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Sejarah Ekskavator

Ekskavator pertama kali diciptakan pada tahun 1835 oleh seorang pemuda berusia 22 tahun bernama William Smith Otis, yang merupakan seorang ahli mekanik asal Amerika Serikat.



Gambar 2.1 Sketsa gambar  
Ekskavator pertama  
(www.canalmuseum.com)

Rancang bangun model Ekskavator pra-industri pada tahun 1836, dan hak paten diberikan pada tanggal 15 maret 1836 atas penemuan ekskavator ini.

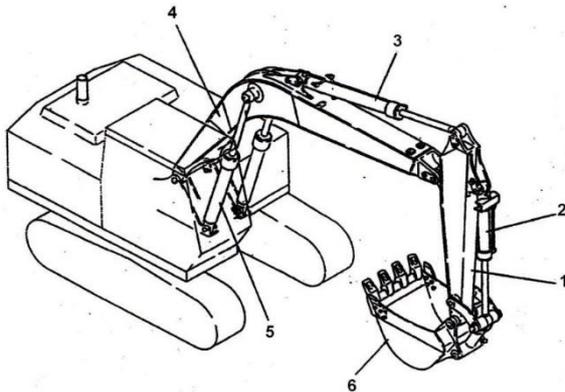


Gambar 2.2 Foto Ekskavator tahun  
1838 (www.canalmuseum.com)

### 2.2 Mekanisme – mekanisme pada Ekskavator

Excavator memiliki banyak jenis antara lain adalah *backhoe*, *power shovel* atau juga dikenal sebagai *front shovel*, *dragline*, dan *clamshell*. Secara umum ekskavator terdiri atas struktur bawah, struktur atas, sistem dan *bucket*. Struktur bawah ekskavator adalah penggerak yang dapat berupa roda ban maupun roda *crawler*. Ekskavator mempunyai as (*slewing ring*) di antara alat penggerak dan badan mesin sehingga alat berat tersebut dapat melakukan gerakan memutar walaupun tidak ada gerakan pada alat penggerak atau mobilisasi.

1. *Arm*
2. Silinder Hidrolik Bucket
3. Silinder Hidrolik Arm
4. *Boom*
5. Silinder Hidrolik Boom
6. *Bucket*



Gambar 2.3 Mekanisme Lengan Excavator Backhoe (Rostiyanti, 2008)

**a) Mekanisme Boom**

Mekanisme *boom* adalah bagian dari mekanisme lengan ekskavator yang memiliki konstruksi paling besar. Mekanisme *boom* terdiri dari batang *boom* dan pengendali *boom* berupa dua buah silinder hidrolik.

**b) Mekanisme Arm**

Mekanisme *arm* terdiri dari sebuah batang *arm* dan pengendalinya sebuah silinder hidrolik. Batang *arm* dipasang pada ujung batang *boom* lalu dihubungkan dengan batang *arm*.

**c) Mekanisme Bucket**

Mekanisme *bucket* didekati sebagai sebagai mekanisme empat batang atau *fourbar linkage* dengan silinder hidrolik sebagai penggerakannya. Dengan demikian maka mekanisme *bucket* terdiri dari

sebuah silinder hidrolik dan mekanisme empat batang serta *bucket* itu sendiri.

**2.3 Persamaan Analisis Kinematis (Martin, 1992)**

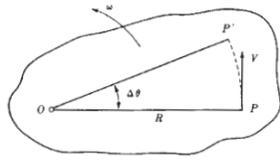
**2.3.1 Jalur dari gerakan dan jarak**

Jalur (*path*) dari sebuah titik yang bergerak adalah tempat kedudukan dari urutan-urutan posisi dari titik itu, dan jarak (*distance*) yang ditempuh oleh titik tersebut adalah panjang dari jalur geraknya. Jarak hanya merupakan besaran skalar karena ia hanya mempunyai ukuran besar saja.

**2.3.2 Pergeseran sudut dan kecepatan sudut**

Tinjaulah benda yang ada dalam Gambar 2.4 yang berputar terhadap sebuah sumbu tetap *O* dan misalkan *P* adalah sebuah titik yang tetap pada benda tersebut. Sewaktu *P* bergerak ke *P'*, lintasan sudut dari garis *OP* atau benda tersebut adalah  $\Delta\theta$ , yang terjadi dalam waktu  $\Delta t$ . Kecepatan sudut rata-rata  $\omega_{av}$ , dari benda tersebut selama selang waktu ini adalah

$$\omega_{av} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \tag{2.1}$$



Gambar 2.4 Mekanisme dua batang penghubung (Martin, 1992)

Kecepatan sudut sesaat dari benda untuk posisi  $OP$  adalah :

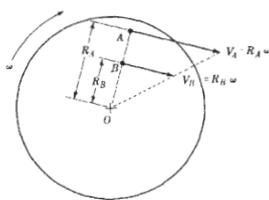
$$V = R\omega \quad (2.2)$$

Dimana  $\omega$  dinyatakan dalam radian/unit waktu. Jika  $\omega$  dinyatakan dalam radian / menit dan  $R$  dalam ft, maka mengingat radian adalah besaran yang tidak mempunyai dimensi, satuan-satuan untuk  $V$  adalah ft/menit. Jadi

$$V = R\omega \quad (2.3)$$

$$\frac{\text{ft}}{\text{minute}} = \text{ft} \times \frac{\text{rad}}{\text{minute}} \quad (2.4)$$

$$V = 2\pi Rn \quad (2.5)$$



Gambar 2.5 Pusat Sesaat pada Piringan (Martin, 1992)

### 2.3.3 Percepatan linier dan percepatan sudut

Percepatan linier (*linear acceleration*) adalah perubahan

kecepatan terhadap waktu dari kecepatan liniernya. Pertama-tama kita akan melihat suatu kasus dari sebuah titik yang mempunyai gerakan menurut garis lurus.

$$V = \frac{ds}{dt} \quad (2.6)$$

maka

$$A = \frac{d^2s}{dt^2} \quad (2.7)$$

$$s = V_0t + \frac{1}{2}At^2 \quad (2.8)$$

$$V^2 = V_0^2 + 2As \quad (2.9)$$

Persamaan sudut (*angular acceleration*) adalah kecepatan waktu dari perubahan kecepatan sudut

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (2.10)$$

Untuk sebuah benda yang mempunyai percepatan sudut beraturan,  $\alpha$  adalah konstan.

Jadi

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \quad (2.11)$$

$$\theta = \frac{1}{2}(\omega_0 + \omega)t \quad (2.12)$$

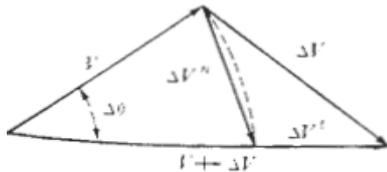
$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \quad (2.13)$$

$$\omega = \omega_0^2 + 2\alpha\theta \quad (2.14)$$

Lintasan sudut, kecepatan sudut dan percepatan sudut mungkin searah jarum jam atau berlawanan dengan arah jarum jam.

### 2.3.4 Percepatan normal dan tangensial

Percepatan tangensial  $A^t$  dari suatu titik pada posisi B adalah kecepatan waktu dari perubahan besar dari kecepatan liniernya. Jadi



Gambar 2.6 Pergeseran Kecepatan (Martin, 1992)

$$A^t = R\alpha \quad (2.15)$$

Percepatan normal  $A^n$  dari suatu titik pada posisi B adalah kecepatan waktu dari perubahan kecepataannya dalam arah normal terhadap jalur pergeseran. Jadi

$$A^n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V^n}{\Delta t} = \frac{dV^n}{dt} \quad (2.16)$$

$$A^n = V \frac{d\theta}{dt} \quad (2.17)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.15) dan (2.16) dalam persamaan (2.17) memberikan

$$A^n = V\omega = R\omega^2 = \frac{V^2}{R} \quad (2.18)$$

Sebuah titik yang mempunyai gerakan berupa garis lurus tidak akan mempunyai komponen percepatan normal karena :

$$A^n = \frac{V^2}{R = \infty} = 0$$

Percepatan linier total  $A$  dari titik yang bergerak adalah jumlah vektor dari  $A^n$  dan  $A^t$ , seperti ditunjukkan dalam gambar 2.7 Besarnya adalah

$$A = \sqrt{(A^n)^2 + (A^t)^2} \quad (2.19)$$

## 2.3 SOLIDWORKS (Cahyono, 2013)

*SolidWorks* merupakan perangkat lunak program mekanikal 3D CAD (*computer aided design*) yang berjalan pada Microsoft Windows. File *SolidWorks* menggunakan penyimpanan *file* format Microsoft yang terstruktur. Ini berarti bahwa ada berbagai file tertanam dalam setiap SLDDRW (file gambar), SLDPRT (*part file*), SLDASM (*file assembly*), dengan *bitmap preview* dan metadata *sub-file*.

## 3.METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Pendahuluan

Dalam bab ini, objek yang digunakan dalam penelitian adalah *Backhoe Excavator* merek Hitachi seri Zaxis tipe ZX-200 untuk sistem *arm, boom, dan bucket*.

### 3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian seperti diperlihatkan pada Gambar 3.1. Penjelasannya adalah sebagai berikut:

- a. Studi literatur

Dengan mempelajari buku-buku mulai dari Martin (1982), Kinematika dan Dinamika Teknik. Rostiyanti (2008), Alat Berat untuk Proyek Kontruksi. Arsyad dan Tekad (2016), Mekanisme Kinematika dan Dinamika Mesin dalam Industri Pertambangan. Dll.

b. Pengambilan data mekanisme lengan ekskavator.

Pengambilan data lengan ekskavator dengan mencari spesifikasi *backhoe excavator* merek Hitachi seri Zaxis tipe ZX-200 yang terdapat pada lampiran. Dan dimensi spesifik untuk *boom*, *arm*, dan *bucket*, peneliti melakukan pengukuran secara langsung pada objek *backhoe excavator* merek Hitachi seri Zaxis tipe ZX-200. Peneliti menyajikan hasil pengukuran dengan gambar yang terdapat pada BAB IV gambar 4.1.

c. Analisis dengan menggunakan *software*.

Setelah data yang diperlukan sudah cukup selanjutnya peneliti melakukan analisis dengan menggunakan *software* yang meliputi pembuatan model *backhoe excavator*, kalkulasi pada

*motion study*, dan terakhir mendapatkan hasil simulasi yang semua proses dikerjakan pada *software solidworks*.

d. Analisis dengan *hand calculation*  
Analisis dengan *hand calculation* yaitu dengan mengerjakan analisis kinematika pada mekanisme *boom* ekskavator dengan metode hitungan matematis.

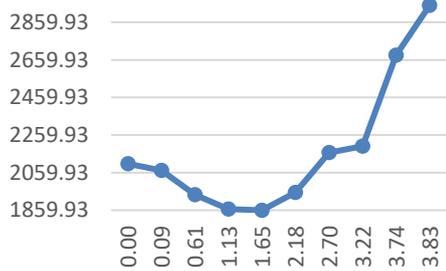
e. Validasi

Validasi dilakukan setelah kita mengetahui hasil dari analisis dengan menggunakan *software* dan hasil dari analisis dengan *hand calculation*. Apakah hasil dari analisis dengan menggunakan *software* sudah sesuai dengan hasil dari analisis dengan *hand calculation*. Apabila tidak sesuai maka akan dilakukan kembali analisis dengan menggunakan *software*, jika sudah sesuai maka analisis dengan menggunakan *software* dapat digunakan untuk melakukan simulasi kinematika mekanisme lengan *backhoe excavator* merek Hitachi ZX-200.

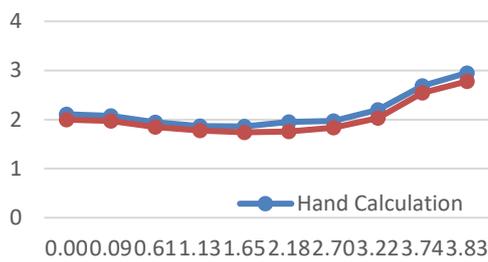
f. Hasil dan pembahasan

Pada hasil dan pembahasan berisi tentang hasil dari analisis kinematika dengan *software* dan

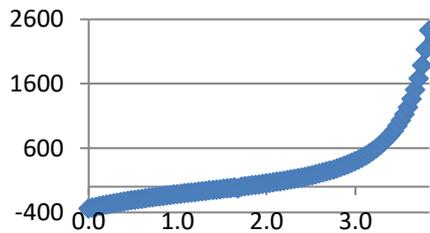




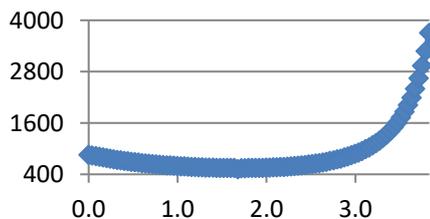
Gambar 4.4 Grafik Hasil Perhitungan  
*Hand Calculation*



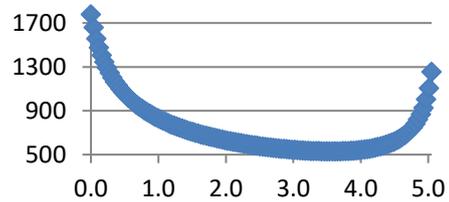
Gambar 4.5 Perbandingan Grafik  
Hasil Simulasi software dengan  
Perhitungan *Hand Calculation*



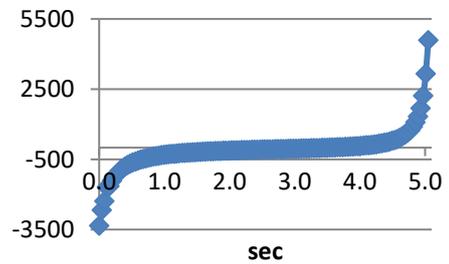
Gambar 4.6 Grafik Hasil Simulasi  
Percepatan Tangensial pada *Boom*



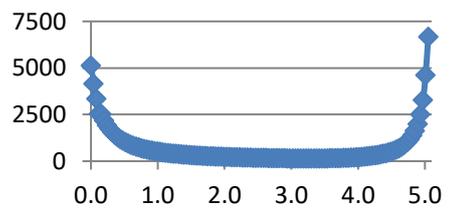
Gambar 4.7 Grafik Hasil Simulasi  
Percepatan Normal pada *Boom*



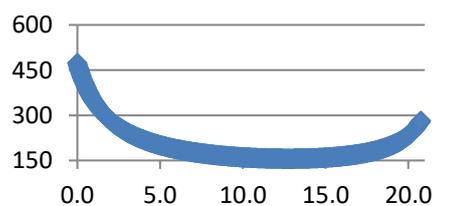
Gambar 4.8 Grafik Hasil Simulasi  
Kecepatan pada *Arm*



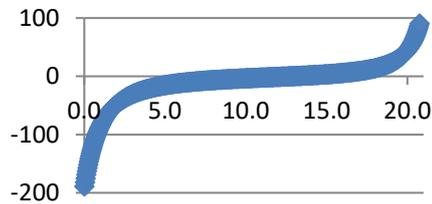
Gambar 4.9 Grafik Hasil Simulasi  
Percepatan Tangensial pada *Arm*



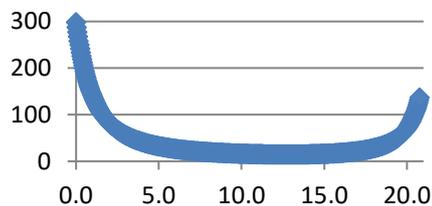
Gambar 4.10 Grafik Hasil Simulasi  
Percepatan Normal pada *Arm*



Gambar 4.11 Grafik Hasil Simulasi Kecepatan pada *Bucket*



Gambar 4.12 Grafik Hasil Simulasi Percepatan Tangensial pada *Bucket*



Gambar 4.13 Grafik Hasil Simulasi Percepatan Normal pada *Bucket*

## 5. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah dibuat simulasi kinematika lengan *backhoe excavator* merek Hitachi seri ZX dengan tipe ZX-200.
2. Kecepatan maksimum batang *boom* adalah 2948.82 mm/s yang terjadi pada saat sudut batang *boom* berada pada  $16.64^\circ$  ( $t = 0s$ ) atau pada sudut minimum *workspace*, percepatan tangensial maksimumnya 2430.12 mm/s<sup>2</sup>, dan percepatan normal maksimumnya 3705.11 mm/s<sup>2</sup>.

3. Kecepatan maksimum batang *arm* adalah 1778.06 mm/s yang terjadi pada saat sudut batang *arm* berada pada  $140.86^\circ$  ( $t = 0s$ ), percepatan tangensial maksimumnya 4594.03 mm/s<sup>2</sup>, dan percepatan normal maksimumnya 6665.24 mm/s<sup>2</sup>.
4. Kecepatan maksimum batang *bucket* adalah sebesar 473.61 mm/s, percepatan tangensial maksimumnya 90.09 mm/s<sup>2</sup>, dan percepatan normal maksimumnya 297.89 mm/s<sup>2</sup>.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad Muhammad. 2016. "Mekanisme Kinematika Dan Dinamika Mesin Dalam Industri Pertambangan." BUDI UTAMA. Yogyakarta.
- Devi Yulianto. 2014. "Analisis Kinematis Lengan *Excavator* Keihatsu 921C." Jurusan Teknik Mesin. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Khollil Ahmad. 2014. "Alat Berat" ROSDA KARYA. Bandung.
- Martin, G.H. 1984. "Kinematika dan Dinamika Teknik". Edisi II. Erlangga. Jakarta.
- Rostiyanti Susy. 2008. "Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi." RINEKA CIPTA. Jakarta.

Zainuri Achmad. 2009. “Mesin  
Pemindah Bahan Material  
Handling Equipment“ ANDI  
YOGYAKARTA. Yogyakarta.