

**ANALISIS NUMERIK MODEL SINOATRIAL NODE
MENGUNAKAN METODE EULER**

SKRIPSI

**OLEH
JAUHAROH MAULIDIYAH
NIM. 13610014**



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**ANALISIS NUMERIK MODEL *SINOATRIAL NODE*
MENGUNAKAN METODE EULER**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)**

**Oleh
Jauharoh Maulidiyah
NIM. 13610014**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**ANALISIS NUMERIK MODEL *SINOATRIAL NODE*
MENGUNAKAN METODE EULER**

SKRIPSI

**Oleh
Jauharoh Maulidiyah
NIM. 13610014**

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal 27 Desember 2019

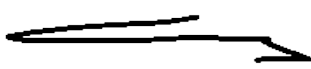
Pembimbing I,

Pembimbing II,


Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001


Abdul Aziz, M.Si
NIP. 19760318 200604 1 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika


Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001

**ANALISIS NUMERIK MODEL SINOATRIAL NODE
MENGUNAKAN METODE EULER**

SKRIPSI

Oleh
Jauharoh Maulidiyah
NIM. 13610014

Telah Dipertahankan di Depan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)

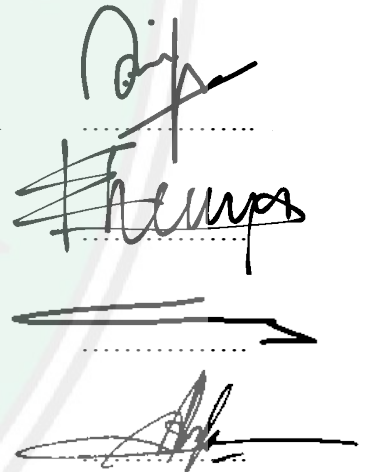
Tanggal 27 Desember 2020

Penguji Utama : Ari Kusumastuti, M.Si., M.Pd

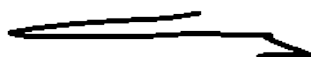
Ketua Penguji :Dr. Heni Widayani, M.Si

Sekretaris Penguji :Dr. Usman Pagalay, M.Si

Anggota Penguji :Abdul Aziz, M.Si



Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika



Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jauharoh Maulidiyah
NIM : 13610014
Jurusan : Matematika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Analisis Numerik Model *Sinoatrial Node* Menggunakan Metode Euler

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar rujukan. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 23 Desember 2020
Yang membuat pernyataan,




Jauharoh Maulidiyah
NIM. 13610014

MOTO

“... Janganlah berputus asa dari rahmat Allah SWT. Sesungguhnya tiada berputus asa dari rahmat Allah melainkan kaum yang kafir”-Surat Yusuf ayat

87;12



PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan kepada:

Kedua orang tua tercinta

Almarhum Abi Moh. Chozin, Umi Sholihatun Nisak,

Yang dengan kesabaran, kasih sayang, doa serta support yang tiada henti-hentinya yang selalu mengiringi penulis

Adik penulis,

Ahmad Shofiyyul Labib yang selalu memberi dukungan

Serta, teman-teman yang selalu memberi energi positif dan tempat keluh kesah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji bagi Allah Swt. atas rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana dalam bidang matematika di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad Saw., yang telah menuntun umat manusia menuju jalan yang terang benderang yakni *ad-Diin al-Islam* dan dinantikan syafaatnya kelak.

Proses penyusunan skripsi ini, penulis mendapat banyak bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis memberikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Abd. Haris, M.Ag, selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Usman Pagalay, M.Si, selaku ketua Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Usman Pagalay, M.Si, selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan, nasihat, dan motivasi kepada penulis.
5. Abdul Aziz, M.Si, selaku dosen pembimbing II yang selalu memberikan motivasi kepada penulis.

6. Segenap sivitas akademika Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang terutama seluruh dosen, terima kasih atas ilmu dan bimbingannya.
7. Segenap keluarga terutama Ayah dan Ibu yang selalu memberikan doa, semangat, serta motivasi kepada penulis sampai saat ini.
8. Seluruh teman-teman di Jurusan Matematika angkatan 2013 yang tiada hentinya membantu, mendukung, dan mendoakan dalam mewujudkan cita-cita, terima kasih atas kenangan-kenangan indah yang dirajut bersama dalam menggapai cita-cita.
9. Seluruh pihak yang ikut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik moril maupun materil serta baik secara langsung ataupun tidak langsung.

Penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat dan diambil hikmahnya bagi pembacamaupun bagi penulis.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Malang, 23Desember2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGAJUAN	
HALAMAN PERSETUJUAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
HALAMAN MOTO	
HALAMAN PERSEMBAHAN	
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	
MOTO	
PERSEMBAHAN	
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
ملخص.....	xvi
 BAB IPENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Penelitian.....	5
1.6 Metode Penelitian	6
1.7 Sistematika Penulisan	6
 BAB I IKAJIAN PUSTAKA	
2.1 Jantung.....	8
2.1.1 <i>Sinoatrial Node</i> Pada Jantung.....	9
2.2 Persamaan Differensial Biasa	12
2.3 Metode <i>Euler</i>	13
2.4 Masalah Nilai Awal	14
2.5 Menjaga Kesehatan Dalam Al-Qur'an	15

BAB III PEMBAHASAN

3.1 Solusi Model Sinoatrial <i>Node</i> Dengan Metode Euler.....	18
3.1.1 Menentukan Persamaan yang akan digunakan	18
3.1.2 Menentukan Nilai Awal	24
3.1.3 Melakukan Literasi	24
3.2 Simulasi Menggunakan Program Matlab	31

BAB IVPENUTUP

4.1 Kesimpulan	33
4.2 Saran	34

DAFTAR RUJUKAN.....	35
----------------------------	-----------

ABSTRAK

Maulidiyah, Jauharoh. 2020. **Analisis Numerik Model *Sinoatrial Node* Menggunakan Metode Euler**. Tugas akhir/skripsi. Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Usman Pagalay, M.Si. (II) Abdul Aziz, M.Si.

Kata kunci : Numerik, Model Matematika, *Sinoatrial Node*, Euler, Persamaan Differensial Biasa

Sinoatrial node adalah salah satu bagian penting dalam jantung manusia, yang berfungsi sebagai pengatur dan penghasil frekuensi dari sinyal elektrik yang menghasilkan denyut jantung. Jika terjadi kerusakan pada *sinoatrial node* maka akan terjadi disfungsi jantung atau bisa kita sebut gagal jantung. Penelitian ini mengimplementasi model *sinoatrial node* dengan metode euler, yang bertujuan untuk mempermudah peneliti lain dalam mengamati proses *sinoatrial node* dalam jantung, sehingga dapat mengantisipasi terjadinya disfungsi jantung. Model matematika *sinoatrial node* yang digunakan merupakan model yang ada dalam buku James Keneer dan James Sneyd yang dimodelkan dengan tipe model Hodgkin-Huxley. Bentuk dari model *sinoatrial node* adalah bentuk persamaan differensial biasa yang memiliki 1 variabel yang bergantung waktu $V(t)$ (potensial aksi), serta memiliki lima parameter, parameter yang digunakan, yaitu: I_{Na} (arus Na), I_K (arus K), I_l (arus kebocoran), I_s (arus lambat), dan I_h (arus hambat). Perhitungan solusi numerik dengan metode euler model *sinoatrial node* dilakukan dengan menggunakan program MATLAB 2013a, dengan nilai awal $v(0) = -60$ pada interval $0 < t < 250$ dengan iterasi yang dilakukan sebanyak 250 kali. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode yang lain dan mendapatkan solusi analitiknya.

ABSTRACT

Maulidiyah, Jauharoh. 2020. **Numerical Analysis of Sinoatrial Node Model Using Euler's Method**. Final project / thesis. Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Advisors: (1) Dr. Usman Pagalay, M.Si. (II) Abdul Aziz, M, Si.

Keywords: Numerical, Mathematical Model, Sinoatrial Node, Euler, Ordinary Differential Equations

The sinoatrial node is an important part of the human heart, which functions as a regulator and generator of the frequency of the electrical signals that produce the heart rate. If there is damage to the sinoatrial node, heart dysfunction will occur or we can call it heart failure. This study implements the sinoatrial node model with the euler method, which aims to make it easier for other researchers to observe the sinoatrial node processes in the heart, so that they can anticipate the occurrence of cardiac dysfunction. The sinoatrial mathematical model used is a model in James Keneer and James Sneyd's book which is modeled similar to the Hodgkin-Huxley model. The form of the sinoatrial node model is a form of ordinary differential equation which has 1 time-dependent variable $V(t)$ (action potential), and has five parameters, namely: I_{Na} (current Na), I_K (current K), I_l (leakage current), I_s (slow current), and I_h (resistor current).

ملخص

مولدية، جوهره. 2020. التحليل العددي لنموذج العقدة الجيبية الأذينية باستخدام طريقة أويلر. المشروع والنهاية / الأطروحة. قسم الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا، مولانا مال كابر اهيمالدولة الإسلامية جامعة مالانج. المستشارون: (1) د. عثمان باجالي، ماجستير. (الثاني) عبدالعزيز، م، سي

الكلمات المفتاحية: النموذج الرياضي، العقدة الجيبية الأذينية، أويلر، المعادلات التفاضلية العادية

تعتبر العقدة الأذينية جزءاً مهماً من قلب الإنسان، حيث تعمل كنظم مولد لتردد الإشارة الكهر بائية التي تنتج معدل ضربات القلب.

ب. إذا كان هناك تلف في العقدة الجيبية الأذينية، فسيحدث خلل في وظائف القلب ويمكن أن تسمى تهقصور القلب.

تطبق هذه الدراسة نموذجا للعقدة الجيبية الأذينية باستخدام طريقة أويلر، والتي تهدف إلى تسهيل مراقبة عمليات العقدة الجيبية الأذينية.

يهدف إلى قلب علماء الباحثين الآخرين، حيث يمكن أن تكون مفيدة في وظائف القلب.

James Sneyd و James Keneer النموذج الرياضي الجيبية الأذينية المستخدم هو نموذج في كتاب

Hodgkin-Huxley. والذي تم تصميمه لشرح نموذج

V شكل نموذج العقدة الجيبية الأذينية هو شكل من أشكال المعادلة التفاضلية العادية التي تحتوي على متغير واحد يعتمد على الوقت

، (التسر بالحالي) I_L ، (K الحالي) I_K ، (Na تيار) I_{Na} : إمكانات فعلية، ولها خمس معلمات، وهي (t)

(تيار المقاومة) I_h تيار بطيء (و) I_s

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sinoatrial node adalah suatu masa jaringan otot jantung khusus yang ada pada dinding posterior atrium kanan tepat dibawah vena cava superior (Liza, 2017). Selain itu Sinoatrial node adalah salah satu dari 4 pacemaker yang ada dalam jantung, yang memiliki peranan penting dalam mengatur dan menghasilkan frekuensi dari sinyal – sinyal elektrik yang menghasilkan denyut jantung (Liza, 2017). Pacemaker yang ada dalam tubuh yaitu: Sinoatrial node adalah pemicu jantung normal yang mengirim 80-70 denyut jantung per menit, Atrioventrikular node adalah pemicu jantung yang mengirim 40 – 60 denyut jantung permenit, Berkas His adalah pemicu jantung mengirim 20 – 40 detak jantung *permenit*, serta serabut purkinj adalah pemicu jantung yang mengirim 20 – 40 denyut permenit (Liza, 2017). Selain itu jantung juga memiliki sifat *otoritminitas*, yaitu mampu berkontraksi atau berdenyut secara ritmis yang terjadi dikarenakan potensi dari jantung itu sendiri (Kusuma, 2017).

Pacemaker dalam tubuh dapat membuat jantung merubah jumlah darah yang dibutuhkan oleh tubuh melalui sinyal- sinyal yang telah diberikan (Kusuma, 2017). Jika diberikan denyutan yang sedikit maka akan diberikan darah yang sedikit, tapi jika diberikan denyut yang banyak maka akan diberikan darah yang banyak juga (Kusuma, 2017). Hal ini membuat sel yang bekerja sebagai pacemaker berperan sangat penting dalam tubuh (Kusuma, 2017).

Denyut jantung dapat diatur oleh sinyal yang dihasilkan oleh Sinoatrial node, sinyal yang telah diberikan oleh Sinoatrial node akan berjalan pada jaringan – jaringan konduksi tertentu pada dinding – dinding atria sehingga menyebabkan otot atria berkontraksi dan memompa (Kusuma, 2017). Selanjutnya, sinyal tersebut akan berjalan pada jaringan – jaringan tertentu untuk mencapai ventrikel sehingga menyebabkan berkontraksi dan memompa (Kusuma, 2017).

Apabila sinoatrial node mengalami disfungsi maka akan ada pacemaker berikutnya yang akan menggantikan, yaitu node Atrio-ventrikel (Tan, 2017). Tapi dengan node AV yang menggantikan keadaan tidak se-efisien sinoatrial node, karena batas detak node AV yang lebih kecil dari sinoatrial node, jika hal tersebut terjadi, maka akan menimbulkan efek samping saat berkurangnya detak jantung, yaitu kurangnya suplay oksigen ke organ organ lain yang ada dalam tubuh (Liza, 2017). Begitupun akan terjadi masalah dalam tubuh jika pacemaker yang lain terjadi kerusakan (Liza, 2017). Dari penjelasan diatas dapat kita ketahui bahwa jika terjadi kerusakan pada salah satu pacemaker atau lebih akan menimbulkan aritma atau gagal jantung (Liza, 2017). Meskipun tidak akan langsung menimbulkan gagal jantung, tapi perlahan-lahan jantung akan terjadi komplikasi (Liza, 2017).

Ketika Sinoatrial node mengalami kegagalan fungsi maka akan dialih fungsikan kepada pacemaker yang lain, tetapi kegagalan fungsi ini akan tetap berpengaruh besar untuk jantung, karena sinoatrial node memiliki frekuensi lebih besar dan lebih cepat. Maka jantung tidak akan berfungsi normal tanpa sinoatrial node, oleh karena itu penting untuk menjaga keadaan sinoatrial node mencegah

kerusakan agar tidak terjadi sesuatu yang berbahaya bagi tubuh juga telah disebutkan dalam al-Quran surat An- Nisa' ayat 29:

وَلَا تَقْتُلُوا أَنْفُسَكُمْ ۚ إِنَّ اللَّهَ كَانَ بِكُمْ رَحِيمًا (٢٩)

“Dan janganlah kamu membunuh dirimu, sungguh Allah Swt. maha penyayang kepadamu”. (QS. An- Nisa’/ 4; 29)

Ayat tersebut telah menjelaskan kepada kita pentingnya menjaga tubuh kita agar tidak terjadi sesuatu yang lebih berbahaya. Salah satunya juga dengan cara menjaga agar tidak terjadi kerusakan dalam sinoatrial node.

Merujuk pada surat An-Nisa' ayat 29 tentang menjaga tubuh maka penelitian ini terfokus untuk memantau jalannya proses pada sinoatrial node sehingga kita mencoba untuk menganalisis model matematika sinoatrial node untuk dapat memonitori proses sinoatrial node sehingga dapat mencari solusi jika terjadi hal yang tidak diinginkan karena terjadinya disfungsi sinoatrial node.

Berdasarkan uraian diatas, maka dalam penelitian proses sinoatrial node di dalam jantung dibutuhkan model yang dapat mempermudah penyelesaian masalah yang ada. Penulis akan menggunakan model matematika sinoatrial node yang ada pada buku James Keener dan James Sneyd yang dimodelkan mirip dengan model Hodgkin-Huxley (keener dan sneyd, 2009). Model tersebut merupakan model matematika dengan jenis persamaan diferensial orde- 1. Didalam persamaan tersebut membahas kecepatan aliran potensial aksi yang tercipta oleh sinoatrial node terhadap waktu. Dengan parameter parameter aliran ion Na^+ , aliran ion K^+ , aliran kedalam sel, aliran yang dapat menghambat yang diaktifkan oleh hiperpolarization, dan aliran yang bocor pada waktu bebas.

Penelitian tentang model matematika sinoatrial node sudah pernah dilakukan oleh Gratz, Onal, Dalic, dan Hund (2018). Dalam artikelnya mereka membahas tentang analisis sensitivitas parameter dengan menggunakan LongQT untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sambungan pada jaringan isolator sinoatrial node dan ionheterogen. Selain itu ada Li, Lines, Maleckar, dan Tveito (2013) yang dalam artikelnya membahas tentang simulasi antara sinoatrial node dan dinding atrium. Serta beberapa penulis yang meneliti model matematika Sinoatrial node dengan objek hewan dan bukan kepada manusia.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, model sinoatrial node belum ada yang meneliti secara numerik sehingga penulis ingin mencoba meneliti menggunakan metode numerik dengan menggunakan metode Euler. Selain itu penelitian ini dapat diambil manfaatnya sebagai penunjang dalam bidang matematika dan bidang kesehatan. Dalam bidang matematika, penelitian ini dapat digunakan untuk memahami model sinoatrial node serta penerapan kaidah metode numerik untuk menganalisis model sinoatrial node. Dalam bidang kesehatan dapat digunakan untuk pencegahan perilaku yang tidak biasa dalam sinoatrial node sehingga dapat dilakukan pemeriksaan dan pengobatan secara dini sehingga tidak menimbulkan bahaya yang lebih parah. Oleh karena itu, penulis ingin meneliti tentang analisis numerik model sinoatrial node dengan menggunakan metode euler.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana solusi dan simulasi model *sinoatrial node* dengan metode euler?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, tujuan penelitian dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui solusi dan simulasi model *sinoatrial node* dengan metode euler.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah menambah wawasan baru tentang implementasi model *sinoatrial node* dengan menggunakan metode euler.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk mendekati sasaran oleh permasalahan yang ada, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Meneliti *sinoatrial node* hanya pada tubuh manusia.
2. Model *sinoatrial node* yang digunakan diambil dari buku James Keener dan James Sneyd yang merupakan model yang dibuat oleh Yanagihara (1980):

$$C_m \frac{dV}{dt} + I_{Na} + I_K + I_l + I_s + I_h = I_{app}$$

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan oleh penulis adalah study literature yang menggunakan referensi utama pada buku james keener dan james sneyd, Adapun langkah langkah yang diambil adalah :

1. Mencari solusi model *sinoatrial node* dengan metode euler:
 - a. Tentukan model yang akan digunakan.
 - b. Tentukan titik awal
 - c. Tentukan jumlah iterasi n dan step size h
 - d. Lakukan perhitungan
 - e. Melakukan simulasi solusi metode euler menggunakan bantuan software MATLAB 2013a.

1.7 SistematikaPenulisan

Sistematikapenulisan merupakan rangkaian urutan dari beberapa uraian penjelas dalam suatu karya ilmiah, adapun sistematika penulisan penelitian ini adalah:

Bab I Pendahuluan

Meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

Bab II Kajian Pustaka

Penulis membahas mengenai kajian teori yang mendukung secara langsung pembahasan dalam penulisan penelitian ini.

Bab III Pembahasan

Pembahasan pada bab ini yaitu tentang hasil dari penelitian, yaitu penyelesaian masalah dengan menggunakan regresi kuantil median.

Bab IV Penutup

Penulis pada bab ini membahas tentang kesimpulan dari hasil penelitian serta saran.

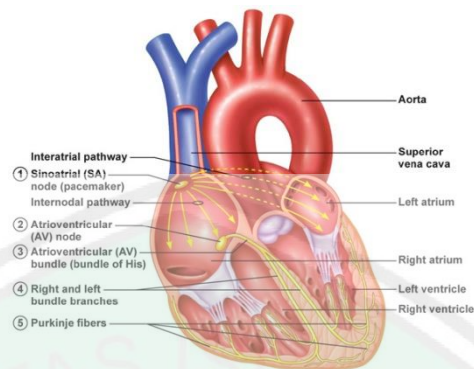


BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Jantung

Jantung merupakan organ yang terletak di mediastium bagian tengah. memiliki fungsi untuk memompa darah keseluruh tubuh (Hardi dan Wangko, 2012). Jantung merupakan organ penting dalam tubuh manusia (Florenxia, 2019).Gagal jantung adalah hal yang fatal, salah satu penyebabnya adalah rusaknya *pace maker* dalam jantung itu sendiri. Denyut jantung normalnya dipengaruhi oleh frekuensi dari sinyal elektrik yang dihasilkan oleh *pace maker* dalam jantung yang disebut *sinoatrial node* (Deviana, 2017). Sel dalam *sinoatrial node* dicirikan memiliki potensial aksi yang teratur dan spontan (Sneyd dan Keener, 2009). Yanagihara (1980) telah membuat model potensi aksi pada *sinoatrial node*, model *sinoatrial node* juga memiliki tipe model Hodgkin-Huxley, YNI (Yanagihara) model menggunakan 4 variabel yang bergantung pada waktu, yaitu arus cepat yang masuk dinotasikan dengan I_{Na} , arus K^+ yang dinotasikan dengan I_K , dua arus tersebut sama dengan model Hodgkin-Huxley, selain itu ada arus lambat yang masuk dinotasikan dengan I_s , dan arus masuk yang dihambat yang diaktifkan oleh hyperpolarization yang dinotasikan sebagai I_h , selain itu ada arus yang bocor yang tidak terikat oleh waktu dengan dinotasikan sebagai I_l (Sneyd dan Keener, 2009).

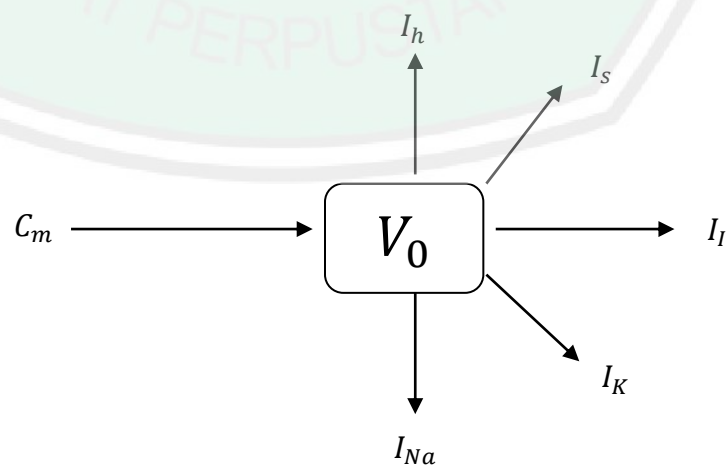


Gambar 1. Proses *sinoatrial node* pada jantung

Sumber: <https://www.ebme.co.uk/articles/clinical-engineering/electrical-signals-of-the-heart>

2.1.1 Sinoatrial Node Pada Jantung

Pada saat semua sel konduksi pada jantung menghasilkan impuls, sinoatrial node menghasilkan impuls lebih besar dan cepat sehingga dapat membatalkan semua proses pembuatan impuls dari sel sel konduksi lainnya. Oleh karena itu sinoatrial node menjadi alat pacu jantung alami pada jantung (Hardi dan Wangko, 2012). Mekanisme aliran listrik yang menimbulkan aksi untuk melakukan kontraksi dan memompa dan melakukan relaksasi dipengaruhi oleh beberapa jenis



elektrolit seperti K^+ , Na^+ , dan Ca^+ , sehingga bila didalam tubuh terjadi gangguan kadar elektrolit tersebut maka akan menimbulkan gangguan pula pada mekanisme aliran listrik pada jantung (Hardi dan Wangko, 2012).

Model *sinoatrial node* yang terdiri dari potensi aksi ($V(t)$) terhadap waktu yang dipengaruhi oleh kapasitas membran (C_m), Arus Na (I_{Na}), Arus K (I_K), Arus kebocoran (I_l), Arus lambat (I_s), dan arus hambatan (I_h) adalah sebagai berikut:

$$C_m \frac{dV}{dt} + I_{Na} + I_K + I_l + I_s + I_h = I_{app}$$

Arus asal dipengaruhi oleh perubahan potensi aksi terhadap waktu yang dipengaruhi oleh kapasitas membran dan bertambahnya arus na , arus k , arus kebocoran, arus lambat, dan arus hambat. Selain model sinoatrial node yang memiliki tipe model Hodgkin-Huxley, YNI model menggunakan 4 variabel yang tidak bergantung pada waktu, yaitu arus cepat yang masuk dinotasikan dengan I_{Na} , arus K^+ yang dinotasikan dengan I_K , dua arus tersebut sama dengan model Hodgkin-Huxley, selain itu ada arus lambat yang masuk dinotasikan dengan I_s , dan arus masuk yang dihambat yang diaktifkan oleh hyperpolarization yang dinotasikan sebagai I_h , selain itu ada arus yang bocor yang tidak terikat oleh waktu dengan dinotasikan sebagai I_l .

$$I_{Na} = 0.5m^3h(V(t) - 30)$$

Arus cepat Na^+ dipengaruhi oleh banyaknya unsur m yang berinteraksi dengan unsur h sebesar 0.5 satuan serta potensial dikurangi unsur lain sebesar 30 satuan

$$I_K = 0.7p \frac{\exp(0.0277(V(t) + 90)) - 1}{\exp(0.0277(V(t) + 40))}$$

Arus cepat K dipengaruhi oleh banyaknya unsur p sebanyak 0.7 satuan yang berinteraksi dengan nilai eksponensial yang berinteraksi dengan potensi asal sebesar 0.0277 satuan dan penambahan unsur lain sebesar 90 kali 0.0277 satuan berbanding terbalik dengan eksponensial yang berinteraksi dengan potensi asal dan penambahan unsur lain sebesar 40 satuan yang berlipat sebesar 0.0277 satuan.

$$I_l = 0.8 \left(1 - \exp \left(\frac{-V(t) + 60}{20} \right) \right)$$

Arus kebocoran dipengaruhi oleh banyaknya unsur lain sebanyak satu satuan dan berkurangnya unsur potensi sebesar -1 yang berinteraksi dengan unsur lain sebesar 60 satuan yang berbanding terbalik dengan unsur lain sebesar 20 satuan yang nilainya eksponensial yang berlipat sebesar 0.8 satuan.

$$I_s = 12.5(0.95d + 0.05)(0.95f + 0.05) \left(\exp \left(\frac{V(t) - 10}{15} \right) - 1 \right)$$

Arus lambat dipengaruhi oleh unsur d sebanyak 0.95 dengan tambahan unsur lain sebanyak 0.5 yang berinteraksi dengan unsur f yang besarnya 0.95 satuan yang ditambah dengan unsur lain sebanyak 0.05 yang berinteraksi dengan potensial asal yang dikurangi unsur lain sebanyak 10 satuan yang berbanding terbalik dengan unsur lain 15 satuan yang bernilai eksponensial yang dikurangi unsur lain sebesar satu satuan yang berlipat sebanyak 12.5 satuan.

$$I_h = 0.4q(V(t) + 45)$$

Arus hambat dipengaruhi oleh banyak unsur q sebesar 0.4 satuan yang berinteraksi dengan potensial yang ditambah unsur lain sebesar 45 satuan.

2.2 Persamaan Differensial Biasa

Persamaan diferensial biasa bisa disebut dengan ODE, persamaan diferensial biasa dapat dibagi berdasarkan pangkat/ orde (order), linearitas, dan kondisi batas (boundery condition). Orde dari suatu persamaan diferensial merupakan orde tinggi derivasi (turunan) yang ada di dalam persamaan tersebut. Contoh berikut merupakan persamaan diferensial biasa orde satu, dua, dan tiga:

$$\text{ODE orde satu : } \frac{dy}{dt} + y = kt$$

$$\text{ODE orde dua : } \frac{d^2y}{dt^2} + y \frac{dy}{dt} = kt$$

$$\text{ODE orde tiga : } \frac{d^3y}{dt^3} + a \frac{d^2y}{dt^2} + b \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 = kt$$

Berdasarkan linieritasnya, ODE dapat dikelompokkan menjadi persamaan linier dan nonlinier. Dalam hal ini contoh berikut merupakan persamaan linier dan nonlinier:

$$\text{ODE linier : } \frac{dy}{dt} + y = kt$$

$$\text{ODE nonlinier : } \frac{d^2y}{dt^2} + y \frac{dy}{dt} = kt$$

$$\frac{d^3y}{dt^3} + a \frac{d^2y}{dt^2} + b \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 = kt$$

Secara umum, bentuk persamaan diferensial biasa linier adalah sebagai berikut:

$$b_0(t) \frac{d^n y}{dt^n} + b_1(t) \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + b_{n-1}(t) \frac{dy}{dt} + b_n(t)y = R(t)$$

Apabila nilai $R(t) = 0$, persamaan diatas disebut persamaan diferensial linier homogeny, sebaliknya bila $R(t) \neq 0$, disebut nonhomogen atau hiterogen.

Berdasarkan kondisi batas, persamaan diferensial dapat dibedakan menjadi persamaan nilai awal (*initial value problem* [IVP]) dan permasalahan dengan kondisi batas (*boundery condition problem*[BCP])(sasongko, 2010).

2.3 Metode Euler

Metode euler adalah metode yang diturunkan dari deret tylor yang paling sederhana, yaitu:

$$y_{n+1} = y_n + hy_n + \frac{h^2}{2!} y'' + \frac{h^3}{3!} y''' + \dots$$

Apabila nilai h kecil, makasuku yang memiliki pangkat yang lebih tinggi atau sama dengan 2 sangat kecil dan dapat diabaikan sehingga didapat persamaan:

$$y_{n+1} = y_n + hy'_n$$

Dengan membandingkan kedua persamaan tersebut bahwa dalam metode euler, kemiringan $\Psi = y'_n = f(x_i, y_i)$ sehingga persamaan dapat kita tulis sebagai metode euler:

$$y_{i+1} = y_i + f(x_i, y_i)h$$

Penyelesaian *initial value problem* menggunakan metode euler dilakukan melalui persamaan :

$$y_{i+1} = y_i + f(x_i, y_i)h$$

dimana i merupakan tahapan iterasi (rosidi, 2019).

2.4 Masalah Nilai Awal

Masalah nilai awal merupakan masalah penyelesaian suatu persamaan diferensial dengan syarat awal yang telah diketahui. Misal diberikan persamaan diferensial orde satu yaitu:

$$\frac{dy}{dt} = y$$

Penyelesaian persamaan di atas adalah $y = Ce^t$. Penyelesaian tersebut memberikan banyak kemungkinan untuk berbagi nilai koefisien C. Penyelesaian tunggal dapat diperoleh jika terdapat nilai t tertentu untuk fungsi $y(t)$ (Triadmodjo, 2002).

Masalah nilai awal pada persamaan diferensial biasa dapat dituliskan dalam bentuk,

$$y'(t) = f(y, t); y(0) = y_0$$

Dengan $f(y, t)$ fungsi terhadap y dan t , dan y_0 adalah keadaan awal. Pada persamaan turunan pertama terhadap y diberikan sebagai fungsi y yang tidak diketahui dengan melakukan integrasi $f'(y, t)$.

Banyak contoh untuk masalah nilai awal persamaan diferensial biasa, antara lain,(Munir, 2008):

$$y'(t) = 3y + 5i; y(0) = 1$$

$$y'(t) = ty + 1; y(0) = 0$$

$$y' = z, z' = -y, y(0) = 1, z(0) = 0$$

2.5 Menjaga Kesehatan Dalam Al-Qur'an

Kesehatan merupakan salah satu nikmat yang diberikan Allah Swt. kepada manusia. Akan tetapi manusia sering kali lupa akan nikmat yang Allah Swt. berikan bahkan lupa untuk bersyukur dan tidak memanfaatkan nikmat tersebut dengan baik. Salah satu cara mensyukuri nikmat yang telah Allah Swt. berikan adalah menjaga nikmat itu dengan baik, seperti menjaga kesehatan diri agar tidak menjadi penyakit yang membahayakan diri sendiri. Allah Swt. juga memerintahkan manusia untuk menjaga kesehatan diri sebagaimana firman-Nya:

وَأَنْفِقُوا فِي سَبِيلِ اللَّهِ وَلَا تُلْقُوا بِأَيْدِيكُمْ إِلَى التَّهْلُكَةِ وَأَحْسِنُوا إِنَّ اللَّهَ يُحِبُّ الْمُحْسِنِينَ (١٩٥)

“Dan infakkanlah (hartamu) di jalan Allah Swt., dan janganlah kamu jatuhkan (diri sendiri) ke dalam kebinasaan dengan tangan sendiri, dan berbuatbaiklah. Sungguh, Allah Swt. menyukai orang-orang yang berbuat baik” (QS. al- Baqarah/2:195).

Dalam QS Al- Baqarah telah di jelaskan bahwa Allah Swt. melarang manusia untuk menjatuhkan dirinya sendiri dalam kebinasaan, sama halnya dengan tidak menjaga kesehatan diri sehingga menimbulkan penyakit yang lebih

berbahaya. Dalam penjagaan terhadap kesehatan, syariat islam juga memberikan beberapa keringanan agar tidak membahayakan badan. Sebagai mana firman Allah Swt. pada QS.al- Baqarah ayat 185:

يُرِيدُ اللَّهُ بِكُمُ الْيُسْرَ وَلَا يُرِيدُ بِكُمُ الْعُسْرَ ۖ (١٨٥)

“Allah Swt. menghendaki kemudahan bagimu, dan tidak menghendaki kesukaran bagimu” (QS. al- Baqarah/2:185).

Dalam ayat tersebut Allah Swt. memberikan keringanan kepada orang yang berpuasa, Allah Swt. memberikan berbagai keringann pada hambanya agar tidak membahayakan badan. Bahkan ketika manusia itu sedang mendapat sakit, maka Allah Swt. memerintahkan untuk berobat, Sebagaimana dalam hadist nabi:

إِنَّ اللَّهَ تَعَالَى أَنْزَلَ الدَّاءَ وَالذَّوَاءَ وَجَعَلَ لِكُلِّ دَاءٍ دَوَاءً فَتَدَاوُوا وَلَا

تَدَاوُوا بِالْحَرَامِ

Artinya: “Sesungguhnya Allah Swt. menurunkan penyakit dan obatnya dan menjadikan bagi setiap penyakit ada obatnya. Maka berobatlah kalian, dan jangan kalian berobat dengan yang haram.” (HR. Abu Dawud dari Abu Darda)

Selain itu dalam hadist nabi SAW. juga diterangkan bahwa tubuh itu memiliki haknya untuk dijaga dan dirawat agar tidak menjadikan tubuhnya sakit, sebagai manusia yang diberikan nikmat sehat dari Allah Swt. seharusnya mensyukuri nikmat-Nya dengan menjaga kesehatan diri serta melakukan hal-hal yang baik ketika sehat, tidak hanya harus memenuhi hak kepada Allah Swt. tetapi harus memenuhi hak kepada keluarga bahkan dengan hak diri sendiri, sebagaimana hadist nabi SAW.:

Dari Abu Juhaifah Wahb bin Abdullah berkata:

آخَى النَّبِيُّ – صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ – بَيْنَ سَلْمَانَ ، وَأَبَى الدَّرْدَاءِ ،
فَزَارَ سَلْمَانُ أَبَا الدَّرْدَاءِ ، فَرَأَى أَنَّ الدَّرْدَاءَ مُتَبَدِّلَةً . فَقَالَ لَهَا مَا شَأْنُكَ
قَالَتْ أَخُوكَ أَبُو الدَّرْدَاءِ لَيْسَ لَهُ حَاجَةٌ فِي الدُّنْيَا . فَجَاءَ أَبُو الدَّرْدَاءِ ،
فَصَنَعَ لَهُ طَعَامًا . فَقَالَ كُلْ . قَالَ فَإِنِّي صَائِمٌ . قَالَ مَا أَنَا بِأَكِلٍ حَتَّى تَأْكُلَ .
قَالَ فَأَكَلْ . فَلَمَّا كَانَ اللَّيْلُ ذَهَبَ أَبُو الدَّرْدَاءِ يَقُومُ . قَالَ نَمْ . فَنَامَ ، ثُمَّ ذَهَبَ
يَقُومُ . فَقَالَ نَمْ . فَلَمَّا كَانَ مِنْ آخِرِ اللَّيْلِ قَالَ سَلْمَانُ قُمْ الْآنَ . فَصَلَّيَا ، فَقَالَ
لَهُ سَلْمَانُ إِنَّ لِرَبِّكَ عَلَيْكَ حَقًّا ، وَلِنَفْسِكَ عَلَيْكَ حَقًّا ، وَلِأَهْلِكَ عَلَيْكَ حَقًّا ،
فَاعْطِ كُلَّ ذِي حَقٍّ حَقَّهُ . فَآتَى النَّبِيُّ – صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ – فَذَكَرَ ذَلِكَ
« لَهُ ، فَقَالَ النَّبِيُّ – صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ – » صَدَقَ سَلْمَانُ

Artinya “Nabi Swa.pernah mempersaudarakan antara Salman dan Abu Darda’. Tatkala Salman bertandang (ziarah) ke rumah Abu Darda’, ia melihat Ummu Darda’ (istri Abu Darda’) dalam keadaan mengenakan pakaian yang serba kusut. Salman pun bertanya padanya, “Mengapa keadaan kamu seperti itu?” Wanita itu menjawab, “Saudaramu Abu Darda’ sudah tidak mempunyai hajat lagi pada keduniaan.” Kemudian Abu Darda’ datang dan ia membuatkan makanan untuk Salman. Setelah selesai Abu Darda’ berkata kepada Salman, “Makanlah, karena saya sedang berpuasa.” Salman menjawab, “Saya tidak akan makan sebelum engkau pun makan.” Maka Abu Darda’ pun makan. Pada malam harinya, Abu Darda’ bangun untuk mengerjakan shalat malam. Salman pun berkata padanya, “Tidurlah.” Abu Darda’ pun tidur kembali. Ketika Abu Darda’ bangun hendak mengerjakan shalat malam, Salman lagi berkata padanya, “Tidurlah!” Hingga pada akhir malam, Salman berkata, “Bangunlah.” Lalu mereka shalat bersama-sama. Setelah itu, Salman berkata kepadanya, “Sesungguhnya bagi Rabbmu ada hak, bagi dirimu ada hak, dan bagi keluargamu juga ada hak. Maka penuhilah masing-masing hak tersebut.” Kemudian Abu Darda’ mendatangi Nabi shallAllah Swt.u ‘alaihi wa sallam lalu menceritakan apa yang baru saja terjadi. Beliau lantas bersabda, “Salman itu benar.” (HR. Bukhari no. 1968).

BAB III

PEMBAHASAN

3.1 Solusi Model Sinoatrial Node Dengan Metode Euler

3.1.1 Menentukan Persamaan yang akan digunakan

Penelitian yang akan dilakukan menggunakan model *sinoatrial node* yang diambil pada buku James Keener dan James Sneyd, Yanagihara (YNI model) (1980) telah membuat model potensi aksi pada sinoatrial node, dengan tipe model Hodgkin-Huxley sebagai berikut:

$$C_m \frac{dV}{dt} + I_{Na} + I_K + I_l + I_s + I_h = I_{app}$$

dimana:

$$I_{Na} = 0.5m^3h(V(t) - 30)$$

$$I_K = 0.7p \frac{\exp(0.0277(V(t) + 90)) - 1}{\exp(0.0277(V(t) + 40))}$$

$$I_l = 0.8 \left(1 - \exp\left(\frac{-V(t) + 60}{20}\right) \right)$$

$$I_s = 12.5(0.95d + 0.05)(0.95f + 0.05) \left(\exp\left(\frac{V(t) - 10}{15}\right) - 1 \right)$$

$$I_h = 0.4q(V(t) + 45)$$

Berikut diberikan variabel dan parameter yang digunakan pada persamaan model diferensial model *sinoatrial node* dalam tabel berikut:

Tabel 3.1.1. Notasi

Notasi	Keterangan
V	Besarnya tegangan atau potensial sinoatrial node
I_{Na}	Arus Na
I_K	Arus Kalsium
I_l	Arus kebocoran
I_s	Arus lambat
I_h	Arus yang menghambat

Sumber: Buku Jamease Keener dan Jamease Sneyd

Dengan persamaan diatas kita dapatkan 6 variabel, yaitu h, p, d, f dan q yang memenuhi persamaan diferensial orde-1 dari persamaan

$$\frac{dw}{dt} = \alpha_w(1 - w(t)) - \beta_w w(t)$$

Dimana $w = h, p, d, f$, dan q , dimana α_w dan β_w terbentuk dari:

$$\frac{C_1 \exp\left(\frac{V(t)-V_0}{C_2}\right) + C_3(V(t) - V_0)}{1 + C_4 \exp\left(\frac{V(t)-V_0}{C_5}\right)}$$

Dan ada constanta C1, C2, C3, C4, C5, dan C0 yang kita gunakan, yaitu α_ω dan β_ω dengan nilai konstanta pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Nilai α dan β untuk YNI model

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	V_0
α_m	0	-	1	-1	-10	-37
β_m	40	-17.8	0	0	-	-62
α_h	1.209×10^{-3}	-6534	0	0	-	-20
β_h	1	∞	0	1	-10	-30
β_p	0	-	-2.25×10^{-4}	-1	133	-40
β_d	0	-	-4.21×10^{-3}	-1	25	5
α_f	0	-	-3.55×10^{-4}	-1	5633	-20

Sumber: Buku James Keener dan James Sneyd

Dari tabel constanta didapat :

$$\alpha_m = \frac{0 \cdot \exp\left(\frac{V - (-37)}{-}\right) + 1(V - (-37))}{1 + (-1)\exp\left(\frac{V - (-37)}{-10}\right)}$$

$$= \frac{1(V + 37)}{1 - \exp\left(\frac{V + 37}{-10}\right)}$$

$$\beta_m = \frac{40 \cdot \exp\left(\frac{V - (-62)}{-17,8}\right) + 0(V - (-62))}{1 + 0 \cdot \exp\left(\frac{V - (-62)}{-}\right)}$$

$$= 40 \cdot \exp\left(\frac{V + 62}{-17,8}\right)$$

$$\alpha_h = \frac{1.209 \times 10^{-3} \left(\frac{v - (-20)}{-6.534} \right) + 0(v - (-20))}{1 + 0, \exp(v - (-20))}$$

$$= 1.209 \times 10^{-3} \left(\frac{v + 20}{-6.534} \right)$$

$$\beta_h = \frac{1 \left(\frac{v - (-30)}{-10} \right) + 0(v - (-30))}{1 + 1, \exp \left(\frac{v - (-30)}{-10} \right)}$$

$$= 0$$

$$\beta_p = \frac{0, \exp(v - (-40)) + (-2.25 \times 10^{-5})(v - (-40))}{1 + (-1) \exp \left(\frac{v - (-40)}{13.3} \right)}$$

$$= \frac{-2.25 \times 10^{-5}(v + 40)}{1 - \exp \left(\frac{v + 40}{13.3} \right)}$$

$$\beta_d = \frac{0, \exp(v - 5) + (-4.21 \times 10^{-3})(v - 5)}{1 + (-1) \exp \left(\frac{v - 5}{2.5} \right)}$$

$$= \frac{(-4.21 \times 10^{-3})(v - 5)}{1 + (-1) \exp \left(\frac{v - 5}{2.5} \right)}$$

$$\alpha_f = \frac{0, \exp(v - (-20)) + (-3.55 \times 10^{-4})(v - (-20))}{1 + (-1) \exp\left(\frac{v - (-20)}{5.633}\right)}$$

$$= \frac{-3.55 \times 10^{-4}(v + 20)}{1 - \exp\left(\frac{v+20}{5.633}\right)}$$

$$\beta_d = \frac{-4.21 \times 10^{-3}(v - 5)}{1 - \exp\left(\frac{v-5}{2.5}\right)}$$

Ada nilai konstanta yang tidak bisa cocok dengan persamaan yang ada, maka akan diberikan:

$$\alpha_p = 9 \times 10^{-3} \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{V(t)+3.8}{9.71}\right)} + 10^{-4}$$

$$\alpha_q = 3.4 \times 10^{-4} \frac{(V(t) + 100)}{\exp\left(\frac{V(t)+100}{4.4}\right) - 1} + 4.95 \times 10^{-5}$$

$$\beta_q = 5 \times 10^{-4} \frac{(V(t) + 40)}{1 - \exp\left(\frac{V(t)+40}{6}\right)} + 8.45 \times 10^{-5}$$

$$\alpha_d = 1.045 \times 10^{-2} \frac{(V(t) + 35)}{1 - \exp\left(-\frac{V(t)+35}{2.5}\right)} + 3.125 \times 10^{-2} \frac{V(t)}{1 - \exp\left(-\frac{V(t)}{4.8}\right)}$$

$$\beta_q = 9.44 \times 10^{-4} \frac{(V(t) + 60)}{1 + \exp\left(-\frac{V(t)+29.5}{4.16}\right)}$$

dengan persamaan yang ada maka nilai m, h, p, d, q, dan f didapat:

$$m = \frac{(v+37)}{-37+40e^{-0,05617977528v-3,483146067}e^{-0,1v-3,7}-40e^{-0,05617977528v-3,483146067}-v}$$

untuk persamaan:

$$C_m \frac{dV}{dt} + I_{Na} + I_K + I_l + I_s + I_h = I_{app}$$

akan diubah menjadi:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{I_{app} - (I_{Na} + I_K + I_l + I_s + I_h)}{C_m}$$

Dengan:

$$\frac{dV}{dt} = f(t, v)$$

Sehingga:

$$f(t, v) = \frac{I_{app} - (I_{Na} + I_K + I_l + I_s + I_h)}{C_m}$$

Jika ada arus yang mempengaruhi membran sel maka $I_{app} \neq 0$, dan ketika membran sel tidak mengalami rangsangan $I_{app} = 0$ (Xiong, 2017). Selain itu dalam model Nobel, kapasitas membran (C_m) bernilai 12, menunjukkan bahwa kapasitas tersebut sangat besar secara realistis, tapi nilai ini digunakan karena memberikan skala waktu yang tepat untuk potensial aksi (Sneyd dan Keener, 2009).

3.1.2 Menentukan Nilai Awal

Nilai awal yang akan digunakan adalah: $v(0) = -60$ dengan $0 < t < 250$, Misal:

$$h = 1$$

$$n = \frac{t_{old} - t_0}{h}$$

$$n = \frac{250 - 0}{1} = 250$$

3.1.3 Melakukan Literasi

Untuk $n = 0$ maka iterasi ke-1:

$$v(n + 1) = v(n) + h \cdot f(t, v)$$

$$v(1) = v(0) + h \cdot f(t_0, v_0)$$

$$v(1) = -60 + 1 \cdot f(1, -60)$$

$$v(1) = -59,8071365169388$$

Untuk $n = 1$ maka iterasi ke-2:

$$v(n + 1) = v(n) + h \cdot f(t, v)$$

$$v(2) = v(1) + h \cdot f(t_1, v_1)$$

$$v(1) = -60 + 1 \cdot f(1, -59,8071365169388)$$

$$v(1) = -59,6166494488699$$

diiterasi sampai iterasi ke 250.

Tabel 3.1.3. Tabel solusi model menggunakan metode euler

Iterasi ke-	V
3	-59,4285
4	-59,2426
5	-59,0589
6	-58,8775
7	-58,6981
8	-58,5209
9	-58,3456
10	-58,1724
11	-58,0012
12	-57,8319
13	-57,6644
14	-57,4988
15	-57,335
16	-57,173
17	-57,0127
18	-56,8541
19	-56,6971
20	-56,5418
21	-56,3881
22	-56,2359
23	-56,0852
24	-55,9361
25	-55,7884
26	-55,6421
27	-55,4972
28	-55,3537
29	-55,2116
30	-55,0707
31	-54,9311
32	-54,7928
33	-54,6557
34	-54,5198
35	-54,3851
36	-54,2515
37	-54,119
38	-53,9876
39	-53,8573

Tabel 3.1.3. Tabel solusi model menggunakan metode euler

Iterasi ke-	V
40	-53,728
41	-53,5997
42	-53,4724
43	-53,346
44	-53,2206
45	-53,0961
46	-52,9725
47	-52,8497
48	-52,7278
49	-52,6067
50	-52,4863
51	-52,3668
52	-52,2479
53	-52,1298
54	-52,0124
55	-51,8957
56	-51,7796
57	-51,6641
58	-51,5492
59	-51,4349
60	-51,3211
61	-51,2078
62	-51,0951
63	-50,9829
64	-50,8711
65	-50,7597
66	-50,6488
67	-50,5382
68	-50,428
69	-50,3181
70	-50,2086
71	-50,0993
72	-49,9903
73	-49,8816
74	-49,773
75	-49,6647
76	-49,5565
77	-49,4485
78	-49,3406
79	-49,2327

Tabel 3.1.3. Tabel solusi model menggunakan metode euler

Iterasi ke-	V
80	-49,125
81	-49,0172
82	-48,9095
83	-48,8018
84	-48,694
85	-48,5861
86	-48,4781
87	-48,3699
88	-48,2616
89	-48,1531
90	-48,0444
91	-47,9354
92	-47,8261
93	-47,7164
94	-47,6064
95	-47,496
96	-47,3851
97	-47,2737
98	-47,1618
99	-47,0493
100	-46,9362
101	-46,8224
102	-46,7079
103	-46,5927
104	-46,4766
105	-46,3597
106	-46,2419
107	-46,123
108	-46,0032
109	-45,8822
110	-45,7601
111	-45,6368
112	-45,5121
113	-45,386
114	-45,2585
115	-45,1295
116	-44,9988
117	-44,8664
118	-44,7321
119	-44,596

Tabel 3.1.3. Tabel solusi model menggunakan metode euler

Iterasi ke-	V
120	-44,4578
121	-44,3174
122	-44,1747
123	-44,0297
124	-43,8821
125	-43,7318
126	-43,5787
127	-43,4225
128	-43,2631
129	-43,1004
130	-42,934
131	-42,7638
132	-42,5896
133	-42,4111
134	-42,228
135	-42,04
136	-41,8468
137	-41,648
138	-41,4434
139	-41,2325
140	-41,0148
141	-40,7898
142	-40,5572
143	-40,3162
144	-40,0664
145	-39,807
146	-39,5373
147	-39,2566
148	-38,964
149	-38,6586
150	-38,3393
151	-38,0051
152	-37,6548
153	-37,2872
154	-36,9008
155	-36,4942
156	-36,0659
157	-35,6142
158	-35,1372
159	-34,6332

Tabel 3.1.3. Tabel solusi model menggunakan metode euler

Iterasi ke-	V
160	-34,1002
161	-33,5362
162	-32,9389
163	-32,3062
164	-31,6357
165	-30,925
166	-30,1717
167	-29,3731
168	-28,5268
169	-27,6304
170	-26,6817
171	-25,6788
172	-24,6205
173	-23,5061
174	-22,3358
175	-21,1106
176	-19,8326
177	-18,5045
178	-17,1297
179	-15,7125
180	-14,2569
181	-12,7675
182	-11,2483
183	-9,70324
184	-8,13575
185	-6,54894
186	-4,94571
187	-3,32918
188	-1,70339
189	-0,07468
190	1,545793
191	3,136853
192	4,656172
193	6,014335
194	7,016469
195	7,330371
196	7,212504
197	7,278336
198	7,245338
199	7,263003

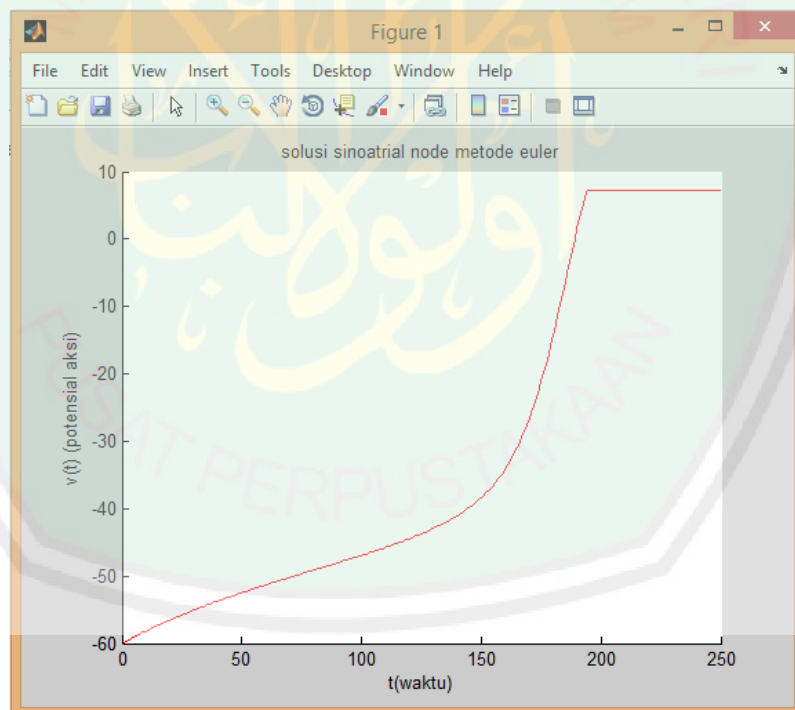
Tabel 3.1.3. Tabel solusi model menggunakan metode euler

Iterasi ke-	V
200	7,253837
201	7,258675
202	7,256143
203	7,257474
204	7,256776
205	7,257143
206	7,256951
207	7,257052
208	7,256999
209	7,257026
210	7,257012
211	7,257019
212	7,257015
213	7,257018
214	7,257016
215	7,257017
216	7,257017
217	7,257017
218	7,257017
219	7,257017
220	7,257017
221	7,257017
222	7,257017
223	7,257017
224	7,257017
225	7,257017
226	7,257017
227	7,257017
228	7,257017
229	7,257017
230	7,257017
231	7,257017
232	7,257017
233	7,257017
234	7,257017
235	7,257017
236	7,257017
237	7,257017
238	7,257017
239	7,257017

Tabel 3.1.3. Tabel solusi model menggunakan metode euler

Iterasi ke-	V
240	7,257017
241	7,257017
242	7,257017
243	7,257017
244	7,257017
245	7,257017
246	7,257017
247	7,257017
248	7,257017
249	7,257017
250	7,257017
251	7,257017

3.1.3. Simulasi Menggunakan Program Matlab

Gambar 2. Grafik solusi model *sinoatrial node* menggunakan metode euler

Dengan menggunakan software MATLAB 2013a penulis telah menyelesaikan solusi numeric dengan metode euler dari model matematika *sinoatrial node*, dan memvisualisasikan menjadi gambar 2.

Dalam model yang sudah divisualisasikan dapat kita ketahui bahwa perubahan potensi aksi dipengaruhi oleh besarnya kapasitas membrane dan enam arus ion, diantaranya : arus membran itu sendiri, arus Na, arus K, arus kebocoran, arus lambat, dan arus hambat.

Perubahan potensi aksi meningkat ketika arus Na, arus K, arus kebocoran, arus lambat, dan arus hambat memberi rangsangan yang cukup besar terhadap membrane sel sampai mengalami fase upstroke dan mengalami repolarisasi ketika arus- arus tersebut mengurangi rangsangan terhadap membrane sel, setelah terjadi repolarisasi maka arus lambat akan masuk secara bertahap dan mendepolarisasi sampai batas ambang tercapai dan fase perubahan potensi aksi dimulai lagi.

BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan yang ada, maka didapatkan kesimpulan bahwa model *sinoatrial node* yang didapat dari buku James Keener dan James Sneyd yaitu:

$$C_m \frac{dV}{dt} + I_{Na} + I_K + I_l + I_s + I_h = I_{app}$$

dimana:

$$I_{Na} = 0.5m^3h(V(t) - 30)$$

$$I_K = 0.7p \frac{\exp(0.0277(V(t) + 90)) - 1}{\exp(0.0277(V(t) + 40))}$$

$$I_l = 0.8 \left(1 - \exp\left(\frac{-V(t) + 60}{20}\right) \right)$$

$$I_s = 12.5(0.95d + 0.05)(0.95f + 0.05) \left(\exp\left(\frac{V(t) - 10}{15}\right) - 1 \right)$$

$$I_h = 0.4q(V(t) + 45)$$

Memiliki bentuk model dengan tipe model Hodgkin-Huxley, yang berupa persamaan differensial biasa orde-1.

Perhitungan solusi numerik dengan metode euler model *sinoatrial node* dilakukan dengan menggunakan program MATLAB 2013a, dengan nilai awal $v(0) = -60$ pada interval $0 < t < 250$ dengan iterasi yang dilakukan sebanyak 250 kali. Dilihat dari tabel hasil iterasi metode ueler dapat diketahui bahwa pada iterasi ke-215 sampai iterasi ke-2051 nila $v(t)$ nya sama, sehingga dapat kita

simpulkan bahwa perubahan $v(t)$ yang dipengaruhi oleh besarnya arus mengalami *upstroke* sehingga pada saat itu seharusnya $v(t)$ mengalami depolarisasi sampai titik tertentu dan akan dimulai lagi.

4.2 Saran

Pada penelitian ini penulis menyelesaikan solusi numeric dengan metode euler pada persamaan sinoatrial node dan membuat simulasi dengan bantuan software MATLAB 2013a. Namun tentu masih terdapat banyak kesalahan karena kurangnya wawasan penulis. Oleh sebab itu, pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat diadakan penelitian yang lebih mendalam tentang analisis model *sinoatrial node* dengan metode yang berbeda serta mencari solusi analitik.

DAFTAR RUJUKAN

- Deviana, Audrey. 2017. *Gagal Jantung: Salah Satu Pacemaker Rusak atau Seluruhnya?*. <https://www.kompasiana.com/audreydevina/5a18eab4ca269b537476e2a2/gagal-jantung-salah-satu-pacemaker-rusak-atau-seluruhnya?page=all>. Diakses pada 23 April 2020.
- Florencia, Gabriella. 2019. *Ketahui Fungsi Jantung ini pada Manusia*. <https://www.halodoc.com/kenali-fungsi-jantung-ini-pada-tubuh-manusia>. Diakses pada 23 April 2020.
- Hardi, Wahyudi & Wangko, Sunny. 2012. Peran Sel Sinoatrial sebagai Pengatur Irama Jantung. *Jurnal Biomedic*. 4(3): S35- 41.
- Kusuma, Sevia. 2017. *1 Pacemaker Rusak Mengakibatkan Gagal Jantung ?*. <https://www.kompasiana.com/sephia/5a1a9f1b677ffb2d08487402/1-pacemaker-rusak-mengakibatkan-gagal-jantung?page=all>. Diakses pada 16 Desember 2019.
- Liza, Elizabeth. 2017. *Pacemaker Alami Manusia*. <https://www.kompasiana.com/ecgg/5a1ae2f7ca269b4cf0080212/pacemaker-alami-manusia?page=all#>. Diakses pada 16 Desember 2019.
- Munir, R. 2006. *Metode Numerik*. Bandung: Informatika.
- Rosidi, Mohammad. 2019. *Metode Numerik Menggunakan R untuk Teknik Lingkungan*. Piktochart.
- Sasongko, S. B. 2010. *Metode Numerik dengan Scilab*. Yogyakarta: C. V. Andi Offsite.
- Sneyd, James & Keener, James. 2009. *Mathematical Physiology System*. New York : Springer Science.
- Tan, Houi. 2017. *Pacemaker Alami, Apakah Krusial?*. <https://www.kompasiana.com/howiearipp26/5a183995da14f91f1465c6c2/pacemaker-alami-apakah-krusial?page=all>. Diakses pada 16 Desember 2019.
- Triadmodjo, B. 2002 *Metode Numerik dilengkapi dengan Program Konsep*. Yogyakarta: Beta Offsite.
- Xiong, Jianhao. 2017. *Modelling and Analysis of the Sinoatrial Node*. Fakultas Sains dan Teknologi

RIWAYAT HIDUP



Jauharoh Maulidiyah, biasa dipanggil diyah atau jauharoh. Lahir di Lamongan tanggal 08 Agustus 1996, dia merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Almarhum Bapak Moh. Chozin dan Ibu Solichatun Nisak, serta saudara kandungnya bernama Ahmad Shofiyyul Labib yang bertempat tinggal di Jalan Andanwangi Gang Anggrek kecamatan Lamongan Kabupaten Lamongan.

Pendidikan dasarnya ditempuh di MI Murni Sunan Drajat dan lulus pada tahun 2008, kemudian dia melanjutkan pendidikan menengah pertama di MTsN Tambak Beras Jombang dan lulus pada tahun 2011. Setelah itu dia melanjutkan pendidikan SLTA di MAN Lamongan dan lulus pada tahun 2013, setelah itu dia menempuh pendidikan Strata 1 (S1) di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dengan prodi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi.



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang Telp./Fax.(0341)558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Jauharoh Maulidiyah
NIM : 13610014
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Matematika
Judul Skripsi : Analisis Numerik Model *Sinoatrial Node* Menggunakan Metode Euler
Pembimbing I : Dr. Usman Pagalay, M.Si
Pembimbing II : Abdul Aziz, M.Si

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	28 Maret 2020	Konsultasi BAB I dan BAB II	1.
2.	3 Mei 2020	ACC BAB I dan BAB II	2.
3.	23 Juni 2020	Konsultasi Kajian Agama BAB II	3.
4.	24 Juni 2020	Revisi Kajian Agama	4.
5.	24 Juni 2020	ACC Seminar Proposal	5.
6.	23 Desember 2020	Konsultasi BAB III dan BAB IV	6.
7.	24 Desember 2020	ACC BAB III dan BAB IV	7.
8.	2 Januari 2021	Konsultasi BAB IV	8.
9.	6 Januari 2021	Konsultasi simulasi	9.
10.	7 Januari 2021	ACC Keseluruhan	10.

Malang, 7 Januari 2021
Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19770521 200501 2 004