

**VISUALISASI 3D OBJEK *TORUS* DENGAN MENGGUNAKAN
ALGORITMA *MARCHING CUBE***

SKRIPSI



AYU ARISTA NURSAHA

**PROGRAM STUDI S-1 MATEMATIKA
DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
2022**

IR – PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

LAMPUKUDUL
VISUALISASI 3D OBJEK TORUS DENGAN MENGGUNAKAN
ALGORITMA MARCHING CUBE

SKRIPSI



AYU ARISTA NURAI SAH

PROGRAM STUDI S-1 MATEMATIKA
DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
2022

**VISUALISASI 3D OBJEK *TORUS* DENGAN MENGGUNAKAN
ALGORITMA *MARCHING CUBE***

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Matematika
Pada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga

Ayu Arista Nuraisah
NIM. 081511233069

Disetujui oleh:

Pembimbing I

Drs. Edi Winarko, M.Cs.

NIP. 196705141993031001

Pembimbing II

Auli Damayanti, S.Si, M.Si.

NIP. 197511072003122004

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Judul : Visualisasi 3D Objek *Torus* dengan Menggunakan
Algoritma *Marching Cube*
Penyusun : Ayu Arista Nuraisah
NIM : 081511233069
Tanggal Ujian : 7 juli 2022

Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Drs. Edi Winarko, M.Cs.

NIP. 196705141993031001

Pembimbing II,

Auli Damayanti, S.Si, M.Si.

NIP. 197511072003122004

Mengetahui

Ketua Departemen Matematika

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Airlangga

Dr. Herry Suprajitno, M.Si.

NIP. 196804041994031020

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga, diperkenankan untuk dipakai sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seizing penyusun dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah. Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga.

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya :

Nama : Ayu Arista Nuraisah
NIM : 081511233069
Program Studi : S-1 Matematika
Jenjang : Sarjana (S1)

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul :

“Visualisasi 3D Objek *Torus* dengan Menggunakan Algoritma *Marching Cube*”

Apabila suatu saat nanti terbukti melakukan tindakan plagiat, maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 7 Juli 2022



Ayu Arista Nuraisah

NIM. 081511233069

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat limpahan taufik, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyusun skripsi yang berjudul “*Visualisasi 3D Objek Torus Dengan Menggunakan Algoritma Marching Cube*” dan dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, yang telah menyempurnakan ahklak yang agung.

Keberhasilan penulis dalam menyusun skripsi ini tentunya tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, tak lupa penulis ucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah berperan dalam menyelesaikan makalah ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Muhammad Nasih, SE., M.T., Ak., CMA selaku Rektor Universitas Airlangga yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menuntut ilmu.
2. Prof. Dr. Moh Yasin. S.Si, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga.
3. Dr. Herry Suprajitno, S.Si, M.Si. selaku Ketua Departemen Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga yang selalu memberikan saran dan motivasi.
4. Dr. Herry Suprajitno, S.Si, M.Si. selaku Koordinator Program Studi S1 Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
5. Siti Zahidah, S.Si., M.Si. selaku dosen wali yang selalu memberikan saran dan inspirasi untuk membuat rancangan perkuliahan.
6. Drs. Edi Winarko, M.Cs. selaku dosen pembimbing I dan Auli Damayanti, S.Si, M.Si. selaku dosen pembimbing II yang senantiasa sabar dan teliti dalam memberikan bimbingan berupa ilmu, saran, dan waktu serta motivasi.

7. Seluruh dosen di Universitas Airlangga, khususnya di Departemen Matematika yang telah menyampaikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
8. Kedua orang tua penulis yang tercinta Bapak Hari Sunarjo dan Ibu Juriah yang tak henti-hentinya selalu mendoakan, mendukung, mengingatkan, serta menghibur dan menyayangi penulis.
9. Bude-bude, Pakde-pakde serta Sepupu-sepupu penulis yang selalu memberikan doa, motivasi, inspirasi, serta dukungan baik dukungan moral maupun finansial.
10. Sahabat-sahabat penulis Wilfa Khairina Helliza, Rahmawati Pambudi Sulistyaningsih, dan Fadil Muhammad yang berperan besar dalam membantu penulis bangkit dari keterpurukan dan depresi.
11. Teman-teman penulis di *Teletubae* (Atika, Dea, Alfa, Sarah), di *Para Perwedokan* (Atika, Bunga, Rika, Divi), di *ANIMAL* (Galih, Dean, Fathur, Kukuh, Julfendi), BM ROK serta Prodi Matematika 2015 terutamanya Bidayatul, Rokhmania, Istik, Varida, dan Radifan yang selalu mendengar keluh kesah, memberikan dukungan, semangat dan motivasi disaat penulis mulai lelah.
12. Seluruh pihak yang belum tertulis yang membantu penulis mendapatkan gelar sarjana.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat sebagai informasi khususnya bagi mahasiswa Universitas Airlangga.

Surabaya, 7 Juli 2022

Penyusun,

Ayu Arista Nuraisah

Ayu Arista Nuraisah, 2022, *Visualisasi 3D Objek Torus Dengan Menggunakan Algoritma Marching Cube*. Skripsi ini dibawah bimbingan Drs. Edi Winarko, M.Cs. dan Auli Damayanti, S.Si, M.Si., Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan Algoritma *Marching Cube* dalam memvisualisasikan Objek 3D. Algoritma *Marching Cube* adalah algoritma yang membentuk resolusi tinggi permukaan 3D dengan mempertimbangkan sifat dasar bidang skalar dan menemukan representasi permukaan yang lebih baik dengan pendekatan segitiga yang dihasilkan. Objek pada penelitian ini difokuskan pada Objek *Torus*. *Torus* adalah permukaan yang mempunyai 1 *genus* dengan *genus* adalah jumlah banyaknya lubang pada suatu permukaan. Sehingga *torus* merupakan bangun permukaan yang memiliki satu lubang. Data dalam memvisualisasikan objek 3D disebut sebagai dataset 3D. Dataset yang digunakan adalah data yang dibangkitkan dari formula sebuah *torus*. Tahapan proses visualisasi 3D pada objek *torus* adalah dengan menginisialisasikan parameter, *value data*, *array edgeTable[256]*, dan *array triTriangle[256][16]*, visualisasi objek dari dataset 3D dengan menggunakan algoritma *marching cube*, lalu proses rendering objek pada OpenGL sehingga objek tampil pada layar *window*. Proses algoritma *marching cube* adalah sebagai berikut: Tetapkan *grid* dan *isovalue*. Bangkitkan banyak *cube* dari besar *grid*. Hitung *cubevalue* dari *value data* yang telah ditetapkan. *Isovalue* dibandingkan dengan *cubevalue* untuk mengklarifikasikan Indeks titik. Indeks titik kemudian dicari pada *array edgeTable[256]* untuk membentuk *isosurface*. Pembentukan bidang segitiga pada tepi *isosurface* dilakukan dengan mencari indeks titik dengan *array triTriangle[256][16]*. Dari tahapan tersebut diperoleh model 3D dari objek *Torus*. Proses rendering objek dilakukan dengan bantuan OpenGL (*OpenGraphic Library*). Program menggunakan bahasa pemrograman C++ dan *software* Visual Studio 2017. Objek 3D yang divisualisasikan pada layar *window* adalah objek *torus* yang berbentuk seperti donat.

Kata Kunci : Visualisasi 3D, *Torus*, Algoritma *Marching Cube*, OpenGL, Komputer Grafik.

Ayu Arista Nuraisah, 2022, *3D Visualization of Torus Object Using The Marching Cube Algorithm*. This undergraduate thesis was supervised by Drs. Edi Winarko, M.Cs. dan Auli Damayanti, S.Si, M.Si., Departement of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Universitas Airlangga, Surabaya.

ABSTRACT

This research aims to apply the Marching Cube Algorithm in visualizing 3D Objects. The Marching Cube algorithm is an algorithm that forms high-resolution 3D surfaces by considering the basic properties of the scalar field and finding a better surface representation with the resulting triangular approach. The object in this research is focused on the Torus Object. Torus is a surface that has 1 genus with genus is the number of holes on a surface, so torus is a surface shape that has one hole. The data in visualizing 3D objects is called a 3D dataset. The dataset that was used is data that generated from the formula of a torus. As for the stages of the 3D visualization process on the torus object are: to initialize the parameters, value data, array edgeTable [256], and array triTriangle [256] [16], visualize objects from the 3D dataset using the marching cube algorithm, then proceed to rendering objects in OpenGL so that objects appear on the window screen. The marching cube algorithm process is as follows: Set the grid and isovalue. Generate many cubes from the size of the grid. Calculate the cubevalue from the data value that has been set. Compare isovalue with the cubevalue to clarify the point index. The point index is then matched with the edgeTable[256] array to form the isosurface. The formation of triangular planes on the edge of the isosurface is done by matching the point index with the triTriangle[256] array[16]. From these stages, a 3D model of the Torus object is obtained. The object rendering process is done with the help of OpenGL (OpenGraphic Library). The program uses C++ programming language and Visual Studio 2017 software. The 3D object visualized on the window screen is a torus object shaped like a donut.

Keywords: 3D Visualization, Torus, Marching Cubes, OpenGL, Computer Graphics.

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI.....	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	iv
SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Komputer Grafik	5
2.2. Terminologi dalam Komputer Grafik	6
2.2.1. Koordinat Pixel dan Warna	6
2.2.2. Voxel.....	7
2.2.3. Volumetrik Dataset.....	7
2.3. Rendering dalam OpenGL.....	9
2.3.1. Modeling	9
2.3.2. View Selection.....	9
2.3.3. Perspective Division	11
2.3.4. Displaying.....	11

2.4.	Konsep Matematika dalam Komputer Grafik	12
2.4.1.	Sistem Koordinat	12
2.4.2.	Vektor	12
2.4.3.	Koordinat Homogeneous	13
2.4.4.	Matriks	14
2.4.5.	Transformasi	14
2.4.6.	Interpolasi linier	17
2.4.7.	Proyeksi Ortografik	18
2.5.	Objek 3- <i>Torus</i>	19
2.6.	Volume Rendering	21
2.7.	Algoritma Marching Cube	22
2.7.1.	Proses Visualisasi Algoritma Marching Cube	22
2.7.2.	Pendekatan “ <i>Divide and conquer</i> ”	23
2.7.3.	<i>Value Data</i>	25
2.7.4.	Indeks Kubus	26
2.7.5.	Konfigurasi Persimpangan Tepi (<i>Edge Intersection</i>)	28
2.7.6.	Koordinat Persimpangan <i>Isosurface</i>	31
2.7.7.	Konfigurasi Triangulated Cube	32
BAB III METODE PENELITIAN		35
BAB IV PEMBAHASAN		37
4.1.	Proses Visualisasi 3D dengan Algoritma Marching Cube	37
4.1.1.	Inisialisasi Parameter	37
4.1.2.	Inisialisasi <i>Value Data</i>	38
4.1.3.	Inisialisasi array <i>edgeTable[256]</i> , dan array <i>triTriangle[256][16]</i>	39
4.1.4.	Proses Algoritma Marching Cube	39
4.1.5.	Proses Rendering pada OpenGL	44
4.2.	Volumetrik Dataset	45
4.3.	Penyelesaian Secara Manual Visualisasi 3D dengan Algoritma Marching Cube	45
4.3.1.	Inisialisasi Parameter	45

4.3.2. Inisialisasi <i>Value Data</i>	46
4.3.3. Proses Algoritma Marching Cube	47
4.3.4. Proses Rendering Objek Torus dengan OpenGL.....	59
4.4. Program Visualisasi 3D dengan Algoritma Marching Cube.....	65
4.5. Implementasi Program Visualisasi 3D dengan Algoritma Marching Cube pada Objek Torus.	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	68
5.1. Kesimpulan.....	68
5.2. Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
2.1	Konversi Bilangan HexaDecimal menjadi Bilangan Biner	29
4.1	Koordinat 8 <i>Pixels</i> pada 8 Kubus	47
4.2	Nilai <i>cubevalue</i> pada Kubus	49
4.3	Hasil perbandingan <i>cubevalue</i> dengan <i>isovalue</i> pada 8 Kubus	50
4.4	Indeks Titik pada 8 Kubus	50
4.5	Konversi Biner menjadi Decimal, dan HexaDecimal menjadi Biner pada <i>edgeTable</i>	52
4.6	Indeks Tepi pada Kubus 1 hingga 6	52
4.7	Koordinat Persimpangan Tepi pada Kubus	57
4.8	Konfigurasi <i>triangulated cube</i> pada kubus 1 hingga 6	58
4.9	Koordinat Persimpangan Tepi Kubus pada koordinat window x, y, z .	63

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2.1	Koordinat (3,5) pada grid pixel 12x8	6
2.2	Variasi warna dalam pixel	7
2.3	Voxel (kiri) Komponen dalam Voxel (kanan)	7
2.4	Sekumpulan array titik-titik koordinat	8
2.5	Dataset CT scan	9
2.6	Titik P pada koordinat (x,y,z)	12
2.7	Koordinat homogeneous 2D pada ruang 3D dengan $t=1$	13
2.8	Prisma Persegi panjang pada Proyeksi Ortografik	19
2.9	Torus	19
2.10	Torus sepanjang sumbu-xy	20
2.11	Torus dalam Sumbu z	20
2.12	Data Non-binari menjadi Binari	22
2.13	Kubus yang terbentuk dari 2 irisan grid	24
2.14	Kubus-kubus yang terbentuk dalam grid = 2	24
2.15	Titik-titik pada kubus berada didalam dan diluar valuedata	26
2.16	Indeks pada kubus	27
2.17	Kubus dengan Indeks titik 1110 0100	28
2.18	Konfigurasi persimpangan tepi kubus	28
2.19	Kubus dengan Indeks tepi 1010 1001 0110	30
2.20	Konfigurasi persimpangan tepi pada Contoh 2.8	30
2.21	Kubus setelah pembentukan isosurface pada Contoh 2.8	31
2.22	Perubahan koordinat persimpangan setelah Interpolasi	32
2.23	Konfigurasi Triangulated Cube	33
2.24	Kubus Gambar 2.21 setelah dirotasi (kiri), Kubus setelah pembentukan bidang segitiga (kanan)	34
2.25	Kubus setelah melakukan proses Algoritma Marching Cube	34

Nomor	Judul Gambar	Halaman
4.1.	Proses Visualisasi 3D dengan Algoritma Marching Cube	37
4.2.	Proses Inisialisasi Parameter	38
4.3.	Proses Inisialisasi Value Data	39
4.4.	Inisialisasi array edgeTable[256], dan array triTriangle[256][16]	39
4.5.	Proses Algoritma Marching Cube	40
4.6.	Proses Membangun Voxel	40
4.7.	Proses mendapatkan cubevalue	41
4.8.	Proses Mendapatkan Indeks Titik & Konfigurasi Persimpangan Tepi	42
4.9.	Proses Interpolasi Linier	42
4.10.	Proses Koordinat Persimpangan isosurface	43
4.11.	Proses Konfigurasi Triangulated Cube	44
4.12.	Proses Rendering pada OpenGL	45
4.13.	Koordinat 8 Pixels pada 8 Kubus	48
4.14.	Konfigurasi Persimpangan pada Koordinat (3,3,0)	53
4.15.	Konfigurasi Persimpangan pada Koordinat (4,3,0)	54
4.16.	Konfigurasi Persimpangan pada Koordinat (3,3,1)	54
4.17.	Konfigurasi Persimpangan pada Koordinat (4,3,1), (4,4,0), dan (3,4,1)	55
4.18.	Konfigurasi Persimpangan pada Koordinat (3,4,0)	55
4.19.	Konfigurasi Persimpangan pada Koordinat (4,4,1)	56
4.20.	Pembentukan segitiga pada 2x2 grid Kubus	59
4.21.	Parameter Program	65
4.22.	Implementasi Algoritma Marching Cube pada Objek Torus Sebelum di Transformasikan	66
4.23.	Implementasi Algoritma Marching Cube pada Objek Torus Setelah di Transformasikan	67
4.24.	Implementasi Algoritma Marching Cube pada Objek Torus	67

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul Lampiran
1	Flowchart Algoritma Visualisasi 3D
2	Flowchart Algoritma Marching Cube
3	edgeTable[256]
4	triTriangle[256][16]
5	Program Visualisasi 3D dengan Algoritma Marching Cube