

TESIS

**REKONSTRUKSI 3D DENGAN METODE SFM-MVS DAN PSR
UNTUK ESTIMASI VOLUME MAKANAN**

***3D RECONSTRUCTION WITH SFM-MVS AND PSR
METHODS FOR FOOD VOLUME ESTIMATION***

**NURDZAKIRAH AMIR
D082211008**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INFORMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

PENGAJUAN TESIS

**REKONSTRUKSI 3D DENGAN METODE SFM-MVS DAN PSR
UNTUK ESTIMASI VOLUME MAKANAN**

Tesis
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Teknik Informatika

Disusun dan diajukan oleh

**NURDZAKIRAH AMIR
D082211008**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

TESIS

REKONSTRUKSI 3D DENGAN METODE SFM-MVS DAN PSR UNTUK ESTIMASI VOLUME MAKANAN

NURDZAKIRAH AMIR

D082211008

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada
Program Magister Teknik Informatika Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 06 November 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M. Sc
NIP. 19640427 198910 1 002

Pembimbing Pendamping



Dr.Eng. Zulkifli Tahir, S.T., M.Sc.
NIP. 19840403 201012 1 004

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, M.T. IPM., ASEAN.Eng.
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Informatika



Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.
NIP. 19640427 198910 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Nurdzakirah Amir
Nomor mahasiswa : D082211008
Program studi : Magister Teknik Informatika

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis yang berjudul “REKONSTRUKSI 3D DENGAN METODE SFM-MVS DAN PSR UNTUK ESTIMASI VOLUME MAKANAN” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc. dan Dr.Eng. Zulkifli Tahir, S.T., M.Sc. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta ini dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, November 2024

Yang menyatakan



10000
METERAI
TEMPEL
D73B7AMX040475045

Nurdzakirah Amir

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil alamin, segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Taala Yang Maha Sempurna, yang telah memberikan rahmat, hidayah dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “**Rekonstruksi 3D Dengan Metode SFM-MVS Dan PSR Untuk Estimasi Volume Makanan**”. Tak lupa pula shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad Shalallahu Alaihi Wasallam yang telah menyinari dunia dengan keindahan ilmu dan akhlak yang diajarkan kepada seluruh umatnya.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Komputer (M.Kom) pada Program Pascasarjana Departemen Teknik Informatika. Penulis ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai dengan masa penyusunan tesis. Oleh karena itu, penulis dengan senang hati menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Taala Yang Maha Sempurna atas semua berkah, karunia, serta pertolongan-Nya yang diberikan kepada penulis disetiap Langkah dalam pembuatan program hingga penulisan laporan tesis ini;
2. Kedua Orang tua penulis, Bapak Muh Amir, S.sos dan Ibu Nurbaya B, S.Pd, yang selalu menjadi motivasi terbesar dalam penyelesaian perkuliahan ini yang tidak pernah putus memberikan doa, dukungan dan semangat serta selalu sabar dalam mendidik penulis sejak kecil;
3. Adik-adik dan kakak-kakak saya yang dengan sangat sabar memberikan semangat kepada penulis selama penyusunan tesis;
4. Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc. selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Eng. Zulkifli Tahir, S.T., M.Sc. selaku pembimbing II yang telah memberikan waktu, tenaga, pikiran, dukungan moril maupun materil serta perhatian yang luar biasa untuk mengarahkan penulis dalam pengerjaan program dan penyusunan tesis;
5. Bapak Dr. Adnan, ST, MT., Bapak Dr. Eng. Muhammad Niswar, S.T., M.IT., dan Ibu Novy Nur RA Mokobombang, ST, Ms.TM. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga laporan tesis ini menjadi lebih baik;

6. Bapak Prof. Dr. Ir. Indrabayu, ST, MT, M.Bus.Sys., IPM, ASEAN, Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Informatika, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan motivasi, bimbingan, dan dukungan selama masa perkuliahan penulis;
7. Bapak dan Ibu Dosen di Departemen Teknik Informatika yang telah memberikan ilmunya selama proses perkuliahan;
8. Seluruh Staff Departemen Magister Teknik Informatika yang telah banyak membantu penulis selama pengurusan administrasi;
9. Teman-teman mahasiswa angkatan 4 serta seluruh pengurus dan anggota Himpunan Mahasiswa Magister Teknik Informatika yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat kepada Penulis dalam menyelesaikan penelitian;
10. Serta seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih atas semua dukungan yang telah diberikan dalam penyelesaian tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis masih jauh dari kata sempurna dan di dalam penyelesaiannya masih menemui kesulitan dan hambatan, sehingga penulis tetap mengharapkan saran dan kritik untuk pengembangan lebih lanjut, agar dapat memberikan manfaat yang banyak bagi semua pembaca.

Wassalam

Gowa, 14 Oktober 2024

Nurdzakirah Amir

ABSTRAK

NURDZAKIRAH AMIR. Rekonstruksi 3D dengan Metode SFM-MVS Dan PSR Untuk Estimasi Volume Makanan (dibimbing oleh **Zahir Zainuddin** dan **Zulkifli Tahir**).

Estimasi volume makanan sangat penting dalam pengelolaan nutrisi untuk mengontrol asupan kalori dan nutrisi. Untuk mendapatkan asupan gizi atau kalori yang lebih tepat dan akurat, volume makanan yang akurat harus diketahui terlebih dahulu. Penelitian ini mengusulkan metode *Structure From Motion* (SFM), *Multi-View Stereo* (MVS), dan *Poisson Surface Reconstruction* (PSR) untuk rekonstruksi 3D, proses rekonstruksi 3D dimulai dengan pengambilan gambar makanan dari berbagai sudut pandang menggunakan kamera smartphone. Gambar tersebut diproses menggunakan SFM untuk menghasilkan *sparse point cloud*, kemudian disempurnakan menjadi *dense point cloud* menggunakan MVS, hasil dari MVS selanjutnya diproses dengan PSR untuk menghasilkan model 3D yang halus. Volume makanan dihitung dengan melakukan pemotongan (*slicing*) pada model 3D dan menghitung volume tiap bagian dari hasil *slicing*. Evaluasi akurasi sistem dilakukan dengan membandingkan hasil estimasi volume sistem dengan pengukuran manual menggunakan metode perpindahan air. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan waktu komputasi signifikan seiring peningkatan jumlah gambar dan kualitas rekonstruksi meningkat dengan jumlah gambar lebih banyak sehingga menghasilkan *sparse point cloud* dan *dense point cloud* lebih banyak. Sistem memiliki akurasi estimasi volume dengan kesalahan rata-rata sekitar 7.7562% dan nilai R^2 sebesar 0.855 menunjukkan kemampuan prediksi yang baik. Berdasarkan standar deviasi yang sebesar 0.936 menunjukkan bahwa hasil estimasi sistem cukup konsisten.

Kata Kunci: Rekonstruksi 3D, *Structure From Motion* (SFM), *Multi-View Stereo* (MVS), *Poisson Surface Reconstruction* (PSR), Estimasi Volume Makanan.

ABSTRACT

NURDZAKIRAH AMIR. *3D Reconstruction with SFM-MVS And PSR Method for Food Volume Estimation. (Supervised by Zahir Zainuddin and Zulkifli Tahir).*

Estimation of food volume is very important in nutrition management to control calorie and nutrient intake. To get a more precise and accurate intake of nutrients or calories, accurate food volume must be known first. This research proposes Structure From Motion (SFM), Multi-View Stereo (MVS), and Poisson Surface Reconstruction (PSR) methods for 3D reconstruction, the 3D reconstruction process begins with taking pictures of food from various viewpoints using a smartphone camera. The images are processed using SFM to produce a sparse point cloud, then refined into a dense point cloud using MVS, the results from MVS are further processed with PSR to produce a smooth 3D model. Food volume is calculated by slicing the 3D model and calculating the volume of each part of the slicing result. Evaluation of the system accuracy is done by comparing the system volume estimation results with manual measurements using the water displacement method. The results show a significant increase in computation time as the number of images increases and the reconstruction quality improves with more images resulting in more sparse point clouds and dense point clouds. The system has volume estimation accuracy with an average error of about 7.7562% and an R^2 value of 0.855 indicating good predictive ability. Based on the standard deviation of 0.936, it shows that the system estimation results are quite consistent.

Keywords: 3D Reconstruction, Structure From Motion (SFM), Multi-View Stereo (MVS), Poisson Surface Reconstruction (PSR), Food Volume Estimation

DAFTAR ISI

PENGAJUAN TESIS.....	ii
PERSETUJUAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Landasan Teori.....	5
2.1.1 Rekonstruksi 3D.....	5
2.1.2 Metode <i>Structure From Motion</i> (SFM).....	8
2.1.3 Metode <i>Multi-View Stereo</i> (MVS).....	10
2.1.4 Metode <i>Poisson Surface Reconstruction</i> (PSR).....	11
2.1.5 Estimasi Volume Makanan	12
2.2 Metode Penyelesaian Masalah	13
2.2.1 <i>State of the art</i> penelitian	13
2.2.2 Kerangka Pikir	19
BAB III LANGKAH PENELITIAN	20
3.1 Tahap Studi Literatur	20
3.2 Tahapan penelitian	20

3.3	Teknik Pengambilan Data	22
3.4	Analisis Kebutuhan	22
3.5	Rancangan Sistem	23
3.5.1	Image Data	24
3.5.2	Rekonstruksi 3D.....	25
3.5.2.1	<i>Feature Extraction and Matching</i>	25
3.5.2.2	<i>Outliers Removing</i>	27
3.5.2.3	<i>Camera Pose Estimation dan Triangulation</i>	28
3.5.2.4	<i>Bundle Adjustment</i>	30
3.5.2.5	<i>Multi-View Stereo (MVS)</i>	32
3.5.2.6	<i>Poisson Surface Reconstruction (PSR)</i>	34
3.5.3	Estimasi Volume Makanan Menggunakan Sistem	34
3.5.3.1	<i>Slicing</i> Model 3D Objek Makanan.....	35
3.5.3.2	Menghitung Volume Tiap Bagian <i>Slicing</i>	36
3.5.3.3	Menghitung Volume Makanan	39
3.5.4	Estimasi Volume Makanan Manual	39
3.6	Evaluasi Sistem	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		42
4.1	Hasil Model Rekonstruksi 3D.....	42
4.2	Hasil dan Evaluasi Estimasi Volume Makanan	45
BAB V PENUTUP		49
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....		50

DAFTAR TABEL

Tabel 1. <i>State of the art</i>	13
Tabel 2. Hasil Model Rekonstruksi 3D.....	43
Tabel 3. Evaluasi Metrik <i>Absolute Error dan Relative Error</i> pada Sistem	45
Tabel 4. Kuadrat Selisih dari Rata-Rata.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses Rekonstruksi 3D	5
Gambar 2. Metode Stereo	6
Gambar 3. Metode Multi-View.....	6
Gambar 4. Deteksi Objek Sensor LiDAR.....	7
Gambar 5. Proses Metode <i>Structured Light</i>	8
Gambar 6. Metode SFM.....	8
Gambar 7. Proses <i>Bundle Adjustment</i>	10
Gambar 8. Metode MVS	10
Gambar 9. <i>Poisson Surface Reconstruction</i>	11
Gambar 10. Kerangka Pikir.....	19
Gambar 11. Tahapan Penelitian	20
Gambar 12. Rancangan Sistem	23
Gambar 13. Diagram Blok Sistem	24
Gambar 14. Contoh Dataset	25
Gambar 15. Penggalan <i>Code Feature Extraction and Matching</i>	26
Gambar 16. (a) <i>Output Feature Extraction</i> dan (b) <i>Output Feature Matching</i>	27
Gambar 17. Penggalan <i>code Outliers Removing</i>	28
Gambar 18. <i>Output Outliers Removing</i>	28
Gambar 19. Penggalan <i>code Camera Pose Estimation dan Triangulation</i>	29
Gambar 20. <i>Output Camera Pose Estimation dan Triangulation</i>	30
Gambar 21. Penggalan <i>code Bundle Adjustment</i>	31
Gambar 22. <i>Output Bundle Adjustment</i>	31
Gambar 23. (a) <i>Sparse Point Cloud</i> yang baik dan (b) <i>Sparse Point Cloud</i> yang tidak baik.....	32
Gambar 24. Penggalan <i>code Dense Point Cloud (MVS)</i>	33
Gambar 25. (a) <i>Dense Point Cloud</i> yang baik dan (b) <i>Dense Point Cloud</i> yang tidak baik.....	33
Gambar 26. Model 3D.....	34
Gambar 27. Proses <i>slicing</i>	35
Gambar 28. Jumlah piksel pada gambar	36
Gambar 29. Penggalan <i>code</i> hitung piksel.....	36

Gambar 30. <i>Code</i> volume tiap bagian <i>slicing</i>	37
Gambar 31. <i>Code</i> Luas Permukaan.....	37
Gambar 32. <i>Code</i> panjang 1 piksel	37
Gambar 33. <i>Code</i> jumlah piksel sepanjang objek.....	38
Gambar 34. <i>Code</i> jumlah piksel keseluruhan objek.....	38
Gambar 35. <i>Code</i> ketebalan atau kedalaman objek	38
Gambar 36. Plot Perbandingan Volume Manual dan Sistem.....	46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mengukur asupan gizi atau kalori pada sebuah makanan sangat penting karena dengan mengatur jumlah konsumsi makanan, dapat menghindari makan yang berlebihan atau kekurangan. Untuk mendapatkan asupan gizi atau kalori yang lebih tepat dan akurat, volume makanan yang akurat harus diketahui terlebih dahulu (Xu, He, Khanna, et al., 2013).

Estimasi volume makanan yang digunakan pada sebuah sistem, seringkali dari basis data yang sudah ada dan terdapat juga estimasi volume yang masih menggunakan cara manual, hal tersebut pastinya menghasilkan data yang tidak akurat untuk pengestimasian tiap makanan. Untuk menganalisis makanan dengan lebih baik, metode lain juga digunakan untuk parameter 3D karena estimasi volume dari foto sebagai gambar 2D saja tidak dapat dilakukan tanpa informasi kedalaman 3D (Dehais et al., 2017). Estimasi volume menggunakan 3D dapat menyederhanakan langkah dan membuatnya lebih realistis untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Dalam studi simulasi proses makanan, terdapat hal sulit yang lain dalam estimasi volume makanan yaitu karena bentuknya yang tidak beraturan. Dengan demikian sangat penting untuk mengembangkan teknik estimasi volume untuk mengatasi masalah yang ada.

Kemajuan dalam visi komputer, terdapat berbagai teknik berbasis komputer vision yang telah diusulkan dalam pengestimasian volume pada makanan. Misalnya penelitian pengestimasian volume makanan yang dilakukan oleh (Puri et al., 2009), menggunakan *Multi-view dense stereo reconstruction* dengan menghasilkan mulai dari 2,0 % hingga 9,5% rata-rata kesalahan estimasi volume. Pada penelitian ini memiliki kekurangan yaitu waktu pemrosesannya lambat (33 detik), dan terdapat beberapa masalah untuk mengambil banyak gambar dan sulit untuk menangani oklusi objek. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Dehais et al., 2017), dengan menggunakan metode *Speed Up Robust Feature* (SURF) dan *Random Sample Consensus* (RANSAC) sehingga menghasilkan kesalahan 10% dengan waktu 5,5 detik. Penelitian ini menutupi kekurangan pemrosesan yang lambat dari penelitian sebelumnya, namun masih terdapat kekurangan yaitu mudah gagal ketika tekstur makanan tidak jelas.

Terdapat penelitian yang lain dilakukan oleh (Gao et al., 2018), menggunakan *SLAM-based sparse stereo reconstruction* yang menghasilkan rata-rata kesalahan estimasi volume 11.7% hingga 19.2% secara statis dan 16.4% hingga 27.9% secara *realtime*, pengukuran waktunya yang nyata. Penelitian ini memiliki kekurangan yaitu memiliki akurasi yang relatif rendah. Penelitian yang dilakukan oleh (Xu, He, Khanna, et al., 2013), menggunakan metode *single view volume estimation* untuk menutupi kekurangan penelitian sebelumnya dengan menghasilkan kesalahan mulai dari 12,5% kebawah dan akurasi tinggi dalam bentuk makanan pra-latih, masih memiliki kekurangan yaitu sulit menangani bentuk yang tidak beraturan.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu masih terdapat kekurangan-kekurangan yang harus diperbaiki seperti sulitnya menangani bentuk makanan yang tidak beraturan, mudah gagal ketika tekstur makanan tidak jelas dan masih menggunakan objek referensi (kartu, checkerboard, dll), maka pada penelitian ini mengusulkan sistem yang pertama-tama harus merekonstruksi bentuk 3D makanan dengan menggunakan satu atau lebih gambar (tampilan). Rekonstruksi 3D adalah teknik pemrosesan gambar yang digunakan untuk menghasilkan model 3D dari objek dalam ruang tiga dimensi, mengusulkan dua metode yaitu *Structure From Motion - Multi-View Stereo* (SFM-MVS) dan *Poisson Surface Reconstruction* (PSR) yang dapat menutupi kekurangan yang ada dari penelitian sebelumnya dalam pengestimasi volume makanan.

Menurut (Cai et al., 2020) dan (Hanbudi & Fauzi, 2022) menggunakan gabungan metode SFM-MVS dan PSR ini dapat menghasilkan model 3D yang baik dengan tekstur koordinat secara otomatis dan akurat. Dalam penerapannya metode SFM memungkinkan rekonstruksi 3D yang lebih efisien, karena tidak perlu memproses seluruh kumpulan gambar pada satu waktu, tetapi hanya perlu memproses gambar baru dan menambahkan hasilnya ke model yang sudah ada. Serta lebih konsisten terutama untuk melakukan pemrosesan pada objek yang memiliki ukuran yang sangat besar (Cui et al., 2018).

Multi-View Stereo (MVS), dimana prosedur ini dapat menghasilkan point cloud yang sangat detail melalui kumpulan citra dari objek yang sedang diamati. Proses MVS bertujuan untuk merekonstruksi objek 3D secara lengkap dengan

memperkirakan depth-map pada citra yang saling tumpang tindih. Metode ini memungkinkan untuk merekonstruksi seluruh permukaan secara lengkap, bahkan untuk bagian-bagian yang tidak terlihat pada satu citra dan dapat menghasilkan dense point cloud yang rapat dan terdistribusi dengan baik (Shao et al., 2016).

Penerapan metode *Structure From Motion - Multi-View Stereo* (SFM-MVS) dan *Poisson Surface Reconstruction* (PSR) pada rekonstruksi 3D memungkinkan sistem untuk membangun model 3D makanan dari beberapa sudut pandang, sehingga lebih efektif dalam menangani makanan dengan bentuk yang tidak teratur. SFM-MVS juga lebih unggul dalam mengatasi masalah tekstur yang kurang pada makanan dan tidak terlalu bergantung pada akurasi kalibrasi kamera, hal ini mengurangi kemungkinan kesalahan yang disebabkan oleh ketidakakuratan kalibrasi dan membuat metode ini lebih fleksibel dan mudah diterapkan dalam berbagai kondisi pengambilan gambar.

Penelitian ini memiliki potensi untuk diterapkan di lapangan karena Metode yang digunakan berbasis gambar serta rekonstruksi 3D, sehingga hanya membutuhkan kamera dan perangkat lunak untuk analisis gambar tanpa harus menggunakan peralatan khusus. Implementasinya juga tergolong mudah dengan perangkat umum seperti kamera smartphone, terutama jika perangkat lunak yang digunakan telah dioptimalkan untuk perangkat seluler. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan metode yang efektif dalam menentukan volume makanan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas maka rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana kinerja sistem dalam menentukan volume makanan dengan akurat?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja sistem dalam penentuan volume makanan dengan akurat.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan model rekonstruksi 3D untuk penentuan volume yang makanan.
2. Menentukan volume makanan yang tepat sehingga dapat membantu pengestimasian kalori yang akurat pada makanan.
3. Sebagai bahan rujukan terhadap penelitian selanjutnya khususnya pada permasalahan estimasi volume makanan.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

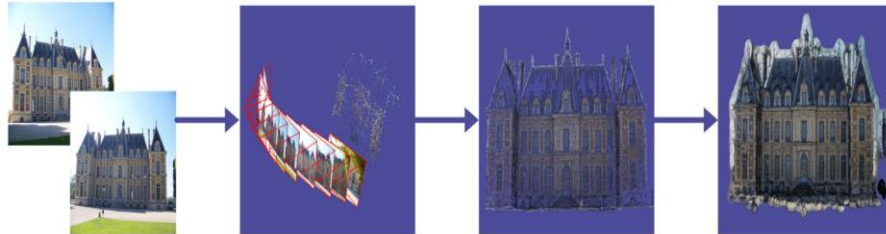
Adapun ruang lingkup pada penelitian ini adalah:

1. Data yang digunakan makanan satu jenis pada satu piring saja.
2. Makanan yang digunakan yaitu makanan padat.
3. Pengambilan gambar makanan diambil dengan menggunakan kamera smartphone Xr dengan resolusi 3024 x 4032 piksel.
4. Gambar diambil dari berbagai sudut pandang.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Rekonstruksi 3D



Gambar 1. Proses Rekonstruksi 3D

sumber: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9229407>

Rekonstruksi 3D merupakan proses untuk memperoleh kembali informasi objek 3D yang ada di dunia nyata dan menyusunnya kembali ke dalam titik-titik pada komputer sehingga komputer dapat mengolah serta menampilkan informasi yang mirip bahkan sama terhadap objek 3D di dunia nyata. Rekonstruksi 3D menciptakan representasi tiga dimensi dari suatu objek atau lingkungan dari gambar atau data yang telah diperoleh. Rekonstruksi 3D memiliki berbagai aplikasi dalam berbagai bidang, termasuk grafik komputer, arsitektur, industri film, arkeologi, dan sebagainya.

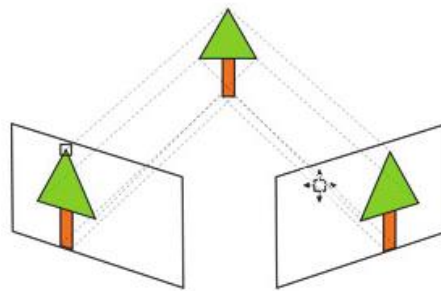
Secara umum, rekonstruksi 3D melibatkan pengambilan gambar atau data dari berbagai sudut pandang untuk mendapatkan informasi tentang objek atau lingkungan. Data tersebut kemudian diproses menggunakan perangkat lunak khusus untuk menciptakan model tiga dimensi. Beberapa teknik yang umum digunakan untuk menciptakan model 3D adalah sebagai berikut:

1. Metode Fotogrametri

Metode ini melibatkan pengambilan gambar dari berbagai sudut pandang untuk menciptakan model 3D. Software khusus kemudian digunakan untuk menggabungkan gambar-gambar tersebut dan menciptakan model 3D. Rekonstruksi 3D berbasis geometri merupakan rekonstruksi 3D bertujuan untuk mendapatkan nilai jarak, keliling, luas, maupun volume dari hasil olahan nilai vektor setiap masing-masing titik pada piksel citra yang ditangkap. Rekonstruksi 3 dimensi

berbasis geometri sendiri memiliki metode secara garis dibagi menjadi dua, yaitu metode aktif melakukan proses rekonstruksi objek 3D dengan laser scanner atau cahaya terstruktur dan metode pasif yang menggunakan sebuah atau beberapa citra yang ditangkap. Ada beberapa metode yang digunakan dalam fotogrametri untuk merekonstruksi objek 3D dari gambar-gambar 2D. Berikut adalah beberapa metode pada fotogrametri:

A. Metode Stereo

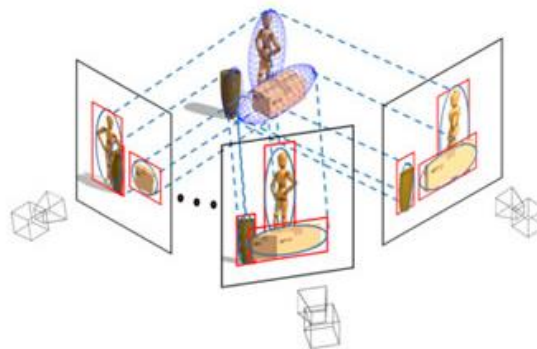


Gambar 2. Metode Stereo

Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Stereo-vision-disparity_fig1_236455177

Metode stereo yaitu pengambilan gambar objek dari dua sudut pandang yang berbeda dan kemudian menggabungkan kedua gambar tersebut untuk menghasilkan model 3D. Dengan menggunakan teknik triangulasi, titik-titik pada objek dihitung dari kedua gambar dan kemudian diolah untuk membuat model 3D.

B. Metode Multi-View



Gambar 3. Metode Multi-View

Sumber: <https://ailabs.tw/smart-city/expanding-computer-vision-multi-view-stereo-capabilities-automatic-generation-of-3-dimensional-models-via-360-camera-footage/>

Metode Multi-View merupakan metode dengan pengambilan gambar objek dari beberapa sudut pandang yang berbeda, dan kemudian menggabungkan gambar-gambar tersebut untuk membuat model 3D yang lebih detail. Metode ini dapat digunakan untuk merekonstruksi objek dengan bentuk yang kompleks.

C. Metode Structure-From-Motion (SFM)

Metode SFM, gambar objek diambil dari berbagai sudut pandang dan kemudian menghasilkan model 3D dengan mengidentifikasi pola dan struktur pada gambar-gambar tersebut. Metode ini juga memanfaatkan teknik triangulasi untuk menghitung koordinat 3D dari titik-titik pada objek.

D. Metode Multi-View Stereo (MVS)

Metode ini merupakan pengembangan dari metode stereo dan multi-view, dan memanfaatkan kombinasi keduanya untuk membuat model 3D yang lebih detail dan presisi. Metode ini dapat digunakan untuk merekonstruksi objek dengan bentuk yang kompleks dan detail yang halus.

2. Metode LiDAR



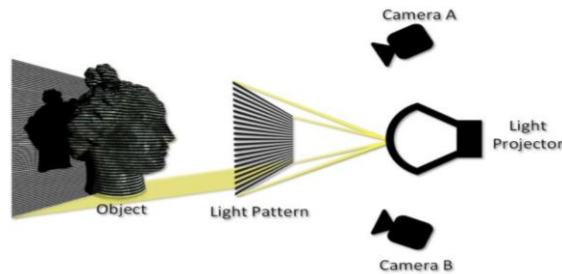
Gambar 4. Deteksi Objek Sensor LiDAR

sumber: <https://robotics.instipenjogja.ac.id/post/LiDARsensor>

Metode ini menggunakan sensor LiDAR (Light Detection and Ranging) untuk mendapatkan data ketinggian dari suatu lingkungan. Data kemudian diproses untuk menciptakan model 3D. LiDAR adalah teknologi yang menerapkan sistem

penginderaan jauh sensor aktif untuk menentukan jarak dengan menembakkan sinar laser yang dipasang pada wahana pesawat. Jarak didapatkan dengan menghitung waktu antara ditembakkannya sinar laser dari sensor sampai diterima kembali oleh sensor.

3. Metode *Structured Light*

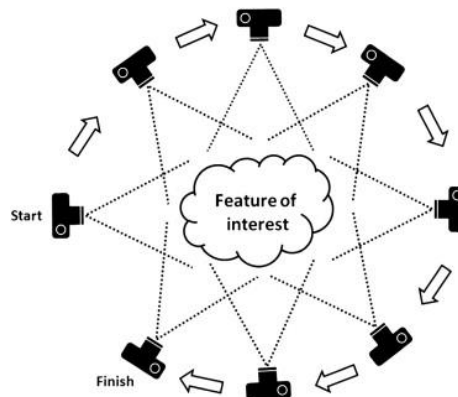


Gambar 5. Proses Metode *Structured Light*

Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Working-principle-of-structured-light-scanner_fig2_320657865

Metode *Structured Light*, menggunakan proyektor untuk memproyeksikan pola cahaya pada suatu objek. Kamera digunakan untuk mengambil gambar objek yang telah diproyeksikan dengan pola cahaya, kemudian diproses untuk menciptakan model 3D.

2.1.2 Metode *Structure From Motion* (SfM)



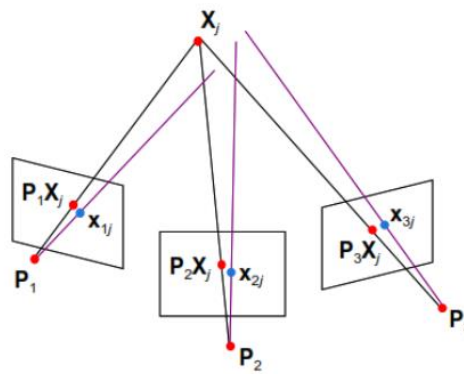
Gambar 6. Metode SfM

Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Structure-from-Motion-SfM-Instead-of-a-single-stereo-pair-the-SfM-technique-requires_fig1_258614668

Structure From Motion (SFM) adalah teknik komputasi yang digunakan untuk merekonstruksi model 3D dari serangkaian gambar 2D yang diambil dari sudut pandang yang berbeda atau dari sekumpulan citra yang membentuk gerakan (citra yang bersifat tumpang tindih) atau dalam arti memiliki beberapa fitur point yang cocok antar citra-citra tersebut sehingga set citra tersebut dapat diproses. Tahapan ini merupakan bagian terpenting dalam melakukan proses rekonstruksi 3D untuk menghasilkan model yang akurat. Untuk melakukan rekonstruksi 3D dengan SFM, terlebih dahulu diperlukan serangkaian gambar 2D yang diambil dari sudut pandang yang berbeda. Selanjutnya, teknik SFM digunakan untuk menghitung posisi dan orientasi kamera pada setiap gambar, serta untuk menentukan posisi dan orientasi 3D dari setiap titik pada objek.

SFM merupakan serangkaian *Image Processing* seperti *Features Detection*, *Features Matching*, *Triangulation*, dan *Bundle Adjustment*. Proses ini membutuhkan parameter Intrinsik dan Ekstrinsik dari kamera. Parameter intrinsik biasanya tercantum dalam spesifikasi kamera tetapi dalam kasus tertentu di mana informasi exif dari set citra tidak diketahui, maka untuk menentukan parameter intrinsik kamera dapat dilakukan proses Camera Calibration untuk mencapai tujuan tersebut (Yang et al., 2019). Metode Camera Calibration yang cukup populer adalah metode Chessboard Detection (Kim & Park, 2019). Hal ini dapat dilakukan dengan mendeteksi pola papan catur pada sekumpulan citra dengan jarak dan sudut yang berbeda. Proses ini hanya perlu dilakukan sekali pada parameter kamera (informasi exif) yang tidak diketahui.

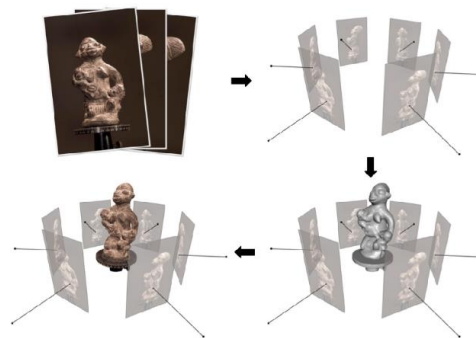
Terdapat proses SFM yang sangat penting yaitu bundle adjustment, tujuan dari proses ini adalah untuk memahami hubungan geometris dibalik semua pengamatan yang disediakan oleh gambar input, dan menyimpulkan struktur adegan yang kaku (titik 3D) dengan pose (posisi dan orientasi) dan kalibrasi internal semua kamera dengan menggunakan non-linear metode bundel adjustment untuk memperbaiki struktur dan gerak maupun meminimalkan kesalahan proyeksi ulang.



Gambar 7. Proses *Bundle Adjustment*

Sumber: <https://www.semanticscholar.org/paper/Bundle-Adjustment-Revisited-Chen-Chen/4405383260e921b4a6e631f6b8b709371ed0ba7e>

2.1.3 Metode *Multi-View Stereo* (MVS)



Gambar 8. Metode MVS

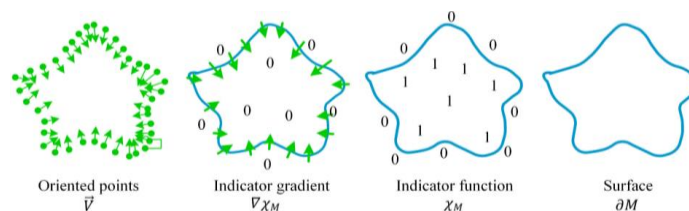
Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Multi-view-stereo-algorithm-steps-5_fig1_342053172

Multi-View Stereo (MVS) adalah metode fotogrametri yang digunakan untuk merekonstruksi objek tiga dimensi dari serangkaian gambar 2D. Metode ini menggunakan teknik pengolahan citra digital dan pemrosesan data untuk menghasilkan model 3D yang lebih detail dan presisi. Prosesnya untuk merekonstruksi dense point cloud dari point kamera yang telah diketahui sebelumnya. Metode MVS ini mengoptimalkan posisi dan vektor normal dari model patch untuk memperkirakan geometri piksel target. Metode ini bekerja dengan meniru apa yang terjadi ketika manusia melihat suatu objek dengan kedua matanya dan melakukan depth estimation dalam ruang 3D. Citra yang diambil dari

setiap mata memiliki sedikit perbedaan, maka dimungkinkan untuk memperkirakan jarak ke objek yang diamati melalui perbedaan ini.

Metode MVS dimulai dengan pengambilan serangkaian gambar objek dari berbagai sudut pandang yang berbeda. Kemudian, teknik stereo matching digunakan untuk menemukan korespondensi antara titik-titik di gambar yang berbeda. Dalam teknik stereo matching, informasi kedalaman (*depth*) dari setiap titik dihitung dengan membandingkan informasi citra dari setiap sudut pandang. Setelah korespondensi antara titik-titik pada setiap gambar ditemukan, informasi kedalaman tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan model 3D dengan menggunakan teknik pemrosesan data seperti surface reconstruction, surface fitting atau meshing. Keuntungan dari metode MVS adalah dapat menghasilkan model 3D dengan presisi yang tinggi dan detail yang lebih baik daripada metode fotogrametri tradisional. Selain itu, metode ini juga dapat digunakan untuk merekonstruksi objek dengan bentuk yang kompleks dan detail yang halus.

2.1.4 Metode *Poisson Surface Reconstruction (PSR)*



Gambar 9. *Poisson Surface Reconstruction*

Sumber: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9229407>

Poisson Surface Reconstruction adalah proses untuk menghasilkan triangle mesh. Metode ini mengacu pada langkah mendefinisikan bentuk *triangle mesh* dan hubungan antara titik-titik (*vertex*) dalam model melalui parameter input *dense point cloud*. Dalam teknik *surface reconstruction*, informasi kedalaman diinterpolasi untuk menghasilkan permukaan objek yang mulus.

Poisson Surface Reconstruction (PSR) menggunakan persamaan *Poisson*, metode ini membutuhkan orientasi normal ke titik *cloud*. Hal ini karena metode ini mengurangi perbedaan antara orientasi normal triangle mesh yang direkonstruksi dan orientasi normal titik lain di titik *cloud* (Kimura et al., 1998).

2.1.5 Estimasi Volume Makanan

Estimasi volume makanan adalah proses menghitung atau memperkirakan volume suatu makanan. Volume makanan dapat memberikan informasi penting dalam konteks gizi, pengaturan porsi makan, atau perencanaan makanan. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengestimasi volume makanan, tergantung pada jenis makanan dan tingkat akurasi yang diinginkan. Pendekatan estimasi volume makanan berbasis gambar dapat dipisahkan menjadi dua kelompok, tergantung pada metodologi dasar yang digunakan. Kelompok pertama menggunakan teknik penglihatan komputer, yang membutuhkan kalibrasi kamera dan mengambil satu atau lebih gambar dari objek makanan target, sedangkan pada kelompok kedua, pekerjaan didasarkan pada pelatihan jaringan konvolusional yang dalam untuk memproses gambar dan memperkirakan volumenya baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk mengukur asupan makanan secara akurat, mengukur ukuran porsi atau volume asupan makanan sangat penting.

2.2 Metode Penyelesaian Masalah

2.2.1 *State of the art* penelitian

Tabel 1. *State of the art*

Peneliti	Judul	Objek Permasalahan	Metode Penyelesaian dan Hasil
(Dehais et al., 2017)	<i>Two-view 3D Reconstruction for Food Volume Estimation</i>	Objek: Gambar Makanan Permasalahan: Bagaimana cara mengestimasi porsi makanan untuk penilaian diet menggunakan gambar. Subjek: Pengembangan sistem otomatis berbasis visi komputer untuk estimasi volume makanan menggunakan rekonstruksi 3D dua gambar (two-view).	• Menggunakan metode <i>Speed Up Robust Feature</i> (SURF) • <i>Random Sample Consensus</i> (RANSAC) • Kesalahan kurang dari 10% dalam 5,5 detik. • Kekurangan pada paper ini, yaitu memiliki ketergantungan pada kartu refrensi, gagal merekonstruksi pada tekstur atau permukaan makanan yang halus dan sudut pengambilan gambar yang tidak tepat dapat menyebabkan kesalahan.
(Joga, 2019)	<i>3D Reconstruction Of Regular Objects From Multiple 2D Images Using a Reference Object</i>	Objek: Benda (Pulpen, Handphone) Permasalahan: Tidak terdapat metode yang tepat atau yang lebih mudah dalam pembuatan rekonstruksi 3D objek real-time.	• Metode <i>Speed Up Robust Feature</i> (SURF) • <i>Strucutre From Motion</i> (SFM) • Metode pixels per metric ratio • Metode yang diusulkan memberikan hasil yang sangat baik. Menghasilkan rekonstruksi

		Subjek: Metode rekonstruksi 3D otomatis untuk objek reguler menggunakan citra 2D dan objek referensi. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem yang menggunakan SURF untuk mendeteksi objek dan SfM untuk menghasilkan model 3D.	3D hybrid yang menggabungkan fotogrametri dengan teknik SFM. • Kekurangan: Ketergantungan pada objek referensi, Akurasi rekonstruksi bergantung pada kualitas gambar yang diambil, Untuk objek dengan bentuk kompleks atau tidak beraturan, metode ini mungkin tidak bekerja dengan baik.
(Hanbudi & Fauzi, 2022)	Rekonstruksi Model 3D dari Set Citra Menggunakan Metode SFM-MVS dan Algoritma Poisson	Objek: Benda (Sweater, Mug, Penyerut Pensil dan Patung kelinci) Permasalahan: Proses pemodelan model 3D yang dilakukan secara manual oleh seorang 3D generalist merupakan serangkaian proses yang panjang dan membutuhkan waktu yang lama dalam prosesnya. Subjek: Rekonstruksi model 3D otomatis dari set citra 2D menggunakan metode Structure from Motion (SfM) dan Multi-View Stereo (MVS), serta algoritma Poisson Surface Reconstruction (PSR)	• <i>Structure From Motion</i> (SfM) • <i>Multi View-Stereo</i> (MVS) • <i>Algoritma Poisson</i> • Menghasilkan output triangle mesh yang cukup akurat berdasarkan beberapa faktor seperti jumlah citra yang digunakan, perbedaan sudut yang tepat untuk setiap citra, pencahayaan yang baik, serta jenis permukaan dan struktur objek yang diamati. • Kekurangan: Ketergantungan pada kualitas gambar.

		untuk menghasilkan triangle mesh yang akurat	
(Xu, He, Khanna, et al., 2013)	<i>Model-Based Food Volume Estimation Using 3D Pose</i>	Objek: Makanan (pisang, bagel, jeruk, jus jeruk, nasi) Permasalahan: Bagaimana memperkirakan ukuran porsi makanan secara otomatis. Subjek: Pengembangan sistem otomatis untuk estimasi volume makanan menggunakan gambar yang diambil dari perangkat mobile.	• Metode <i>single view volume estimation</i> • Kesalahan estimasi volume rata-rata 10%. Metode ini dapat meningkatkan akurasi estimasi volume untuk makanan dengan bentuk sederhana. • Kekurangan paper ini, yaitu ketergantungan pada Checkerboard, kurang akurat untuk makanan dengan bentuk kompleks atau tidak teratur dan rentan terhadap noise pada segmentasi gambar.
(Xu, He, Parra, et al., 2013)	<i>Image-Based Food Volume Estimation</i>	Objek: Makanan Permasalahan: Bagaimana pengestimasian volume makanan dengan bentuk yang tidak beraturan. Subjek: Sistem pengukuran volume makanan berbasis gambar. Fokus utama penelitian ini adalah pengembangan metode estimasi volume makanan yang dapat digunakan untuk menilai porsi	• Metode <i>multi-view volume estimation</i>. • Kesalahan rata-rata estimasi volume adalah sekitar 10%. • Kekurangannya yaitu ketergantungan pada Checkerboard, kurang akurat untuk makanan dengan bentuk yang kompleks atau tidak teratur dan segmentasi gambar yang tidak akurat.

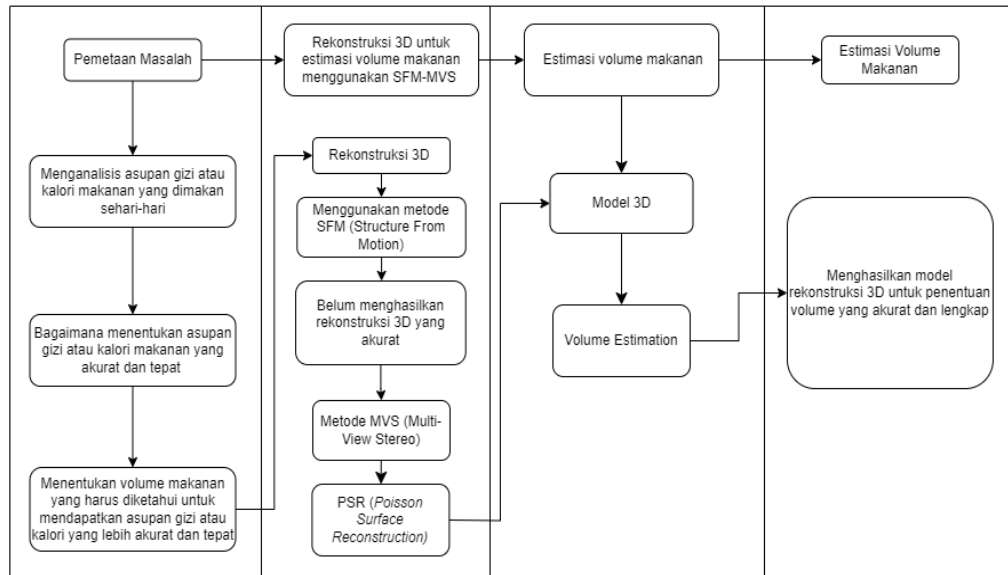
		makanan menggunakan gambar yang diambil dari perangkat mobile.	
(Fang et al., n.d.)	<i>A Comparison Of Food Portion Size Estimation Using Geometric Models And Depth Images</i>	Objek: Makanan (Apel, pisang, kue, sosis, cangkir) Permasalahan: Membandingkan dua Teknik untuk memperkirakan ukuran porsi makanan yang akurat dari gambar makanan. Subjek: Pengembangan dan perbandingan metode estimasi volume makanan menggunakan model geometris dan gambar kedalaman.	• Model Geometris • <i>Depth Image</i> • Estimasi volume yang lebih akurat menggunakan model geometris dibandingkan dengan <i>depth image</i>. • Kekurangan: volume menggunakan gambar kedalaman cenderung menghasilkan estimasi yang berlebihan, kurang efektif untuk makanan dengan bentuk yang tidak teratur atau kompleks.
(Sapkal et al., 2017)	<i>Volume Estimation of An Object Using 2D Images</i>	Objek: Citra Makanan Permasalahan: Bagaimana memperkirakan volume makanan dengan hanya menggunakan kurang lebih 3 citra makanan. Subjek: Pengembangan metode otomatis untuk estimasi volume objek menggunakan gambar 2D.	• Menggabungkan algoritma deteksi tepi, segmentasi gambar dan ekstraksi fitur • Algoritma yang diusulkan adalah solusi yang lebih sederhana dan hemat biaya dibandingkan dengan algoritma lain. • Kekurangan: Ketergantungan pada skala, pendekatan ini hanya menggunakan teknik pengolahan gambar 2D dan tidak mencakup rekonstruksi 3D penuh,

			keterbatasan pada bentuk yang kompleks.
(Gao et al., 2018)	<i>Food Volume Estimation for Quantifying Dietary Intake with a Wearable Camera</i>	Objek: Makanan (Appel, <i>mini-cake</i> dan sosis) Permasalahan: Bagaimana menentukan volume makanan secara terus menerus tanpa informasi yang telah ada dengan <i>wearable camera</i>. Subjek: Teknik pengukuran volume makanan menggunakan <i>wearable camera</i> berbasis SLAM. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem otomatis yang dapat mengukur volume.	• Metode <i>Simultaneous Localization and Mapping</i> (SLAM) • Algoritma <i>multiple convex hull</i> • Kesalahan estimasi volume rata-rata sekitar 10% hingga 22.8% • Kekurangan : Kualitas rekonstruksi bisa menurun jika pencahayaan buruk atau terdapat terlalu banyak <i>noise</i> di sekitar objek makanan, estimasi skala yang bergantung pada referensi, kesalahan akibat <i>Outliers</i>.
(Liu et al., 2020)	<i>Food Volume Estimation Based On Reference</i>	Objek: Makanan (Appel, pisang, jeruk, tomat, jujube) Permasalahan: Memperkirakan volume makanan dengan mengeksplorasi hubungan antara properti dan volume objek (makanan dan referensi). Subjek: Pengembangan metode estimasi volume makanan berbasis referensi, yang menggunakan algoritma <i>Faster R-CNN</i> dan <i>CNN</i> untuk mendeteksi dan	• Metode <i>Faster R-CNN</i> • <i>CNN</i> • <i>Grabcut</i> • Algoritma <i>Edge Filtering</i> • Akurasi: hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa Volume makanan yang diprediksi dengan metode yang diusulkan memiliki akurasi dan stabilitas yang tinggi. MAPE antara masing-masing jenis data estimasi dan data aktual kurang dari 4,5%.

		menghitung volume makanan secara otomatis.	• Kekurangan : Ketergantungan pada objek referensi, Jarak dan sudut pengambilan gambar sangat mempengaruhi hasil estimasi volume.
(Cai et al., 2020)	<i>An End-to-End Approach to Reconstructing 3D Model From Image Set</i>	Objek: Gambar patung liberty, Patung Vercingetorix dan Katedral Smolny Permasalahan: Struktur 3D dari gambar 2D adalah proses yang sangat kompleks yang membutuhkan keahlian dengan hasil yang seringkali terbatas Subjek: Pengembangan sistem rekonstruksi 3D otomatis dari kumpulan gambar yang tidak teratur.	• <i>Structure From Motion</i> (SFM) • MVS • PSR • Akurasi: Hasil menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan mengungguli pendekatan canggih baik dalam hal akurasi maupun kelengkapan.

2.2.2 Kerangka Pikir

Tujuan kerangka pikir adalah untuk mengetahui posisi dan keunikan penelitian yang akan dilaksanakan. Kerangka pikir dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Kerangka Pikir