

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan pesat dalam teknologi pencitraan medis yang semakin luas telah mendorong peningkatan berkelanjutan dalam kemampuan deteksi klinis secara lebih mudah (Wang dkk., 2022). MRI merupakan salah satu teknologi diagnostik terkini yang digunakan untuk memeriksa dan mendeteksi tubuh manusia tanpa menggunakan sinar X atau bahan radioaktif. Alat ini bekerja dengan memanfaatkan medan magnet yang kuat dan gelombang frekuensi radio untuk menghasilkan gambaran potongan tubuh atau organ manusia. MRI bekerja dengan menggunakan medan magnet kuat dan memanfaatkan resonansi getaran dari inti atom hidrogen sebagai dasar teknik pencitraannya (Hanisa dkk., 2023). Dibandingkan dengan modalitas pencitraan lain seperti sinar-X atau CT-Scan, MRI mampu menghasilkan citra dengan kontras jaringan lunak yang lebih jelas dan sensitif, sehingga sangat efektif dalam mengevaluasi anatomi jaringan tubuh. Organ yang umum diperiksa dengan MRI antara lain otak, sumsum tulang belakang, sistem saraf, serta jaringan lunak pada sistem muskuloskeletal seperti otot, ligamen, tendon (urat), tulang rawan, dan ruang sendi (Dewi dkk., 2023).

Kanker serviks menjadi salah satu permasalahan kesehatan masyarakat seluruh dunia, khususnya di negara-negara berkembang, yang banyak dialami oleh perempuan (Mendagudli dkk., 2021). Berdasarkan estimasi terkini dari *International Agency for Research on Cancer (IARC)* dan *Human Papillomavirus Centre (HPV Centre)* (2023), angka kejadian kanker serviks di Indonesia mencapai sekitar 36.633 kasus baru per tahun, dengan sekitar 21.003 kematian akibat penyakit tersebut. Metode pencitraan yang sering digunakan untuk mengevaluasi kanker serviks adalah *Magnetic Resonance Imaging (MRI)* (Hildaimawanti dkk., 2023).

Prinsip dasar MRI didasarkan pada perilaku inti atom dalam medan magnet kuat dan gelombang radio. MRI memanfaatkan sifat magnetik inti hidrogen yang banyak terdapat pada air dan lemak tubuh. Dalam medan magnet, inti hidrogen akan sejajar dengan arah medan, lalu ketika diberi pulsa frekuensi radio, keselarasan ini terganggu sementara. Saat inti kembali ke posisi semula, ia memancarkan sinyal radio yang ditangkap oleh kumparan penerima. Sinyal tersebut diproses komputer menjadi citra penampang dengan kontras tinggi berdasarkan distribusi inti hidrogen pada jaringan berbeda. Perbedaan intensitas sinyal ini memungkinkan visualisasi detail berbagai jaringan lunak, sehingga MRI sangat efektif digunakan untuk pencitraan otak, sumsum tulang belakang, otot, organ, maupun sendi. Dengan kemampuan tersebut, MRI menjadi salah satu modalitas pencitraan non-invasif yang paling penting dalam diagnosis medis modern (Fatimah dkk., 2024).

Salah satu sekuens yang digunakan dalam pemeriksaan kanker serviks sering dikenal dengan teknik *Fat Saturation (Fat-Sat)*. *Fat Saturation* digunakan untuk mendeteksi atau menekan sinyal dari jaringan lemak. Terdapat tiga pendekatan yang dapat diterapkan, yaitu *selective Fat Saturation*, *inversion recovery*,

dan *phase-encoding*. Dalam pencitraan MRI, proton pada lipid dan proton hidrogen pada air menunjukkan perilaku yang berbeda, sehingga teknik penekanan lemak menjadi penting digunakan. Fat-Sat dapat diterapkan pada pencitraan berbobot T1, yang disesuaikan dengan komposisi jaringan serta karakteristik khas dari area dengan konsentrasi lemak tinggi dan mendeteksi pergeseran kimia (Chandra dan Jeniyanti.,2024).

Relaksasi T1 didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan agar magnetisasi longitudinal mencapai sekitar 63% dari nilai awalnya. Proses ini merepresentasikan kembalinya proton ke keadaan energi lebih rendah sepanjang sumbu longitudinal, dengan melepaskan energi yang telah diserap ke lingkungan sekitar dalam bentuk panas. Faktor utama yang memengaruhi sinyal T1 meliputi komposisi jaringan, keberadaan ikatan hidrogen, serta kemungkinan adanya zat paramagnetik (Gaeta dkk., 2024). Pada pencitraan T1-*Weighted imaging* (T1WI) kanker serviks sulit dibedakan dari stroma karena kontrasnya rendah, namun sekuens fat saturated T1WI ini berguna untuk membedakan pendarahan dari lemak dengan menekan lemak (Park dan Kim., 2021).

Relaksasi T2 mempresentasikan seberapa cepat *spin-spin* kehilangan sinkronisasi pada bidang transversal atau seberapa cepat *spin-spin* dibidang xy kehilangan keselarasan (fase) secara alami atau waktu yang dibutuhkan oleh *spin* selama proses dephasing tanpa pulsa 180° . T2 lebih pendek dari T1 karena melibatkan efek tambahan dari ketidakhomogenan medan lokal dan interaksi dipolar, digunakan secara luas dalam teknologi MRI untuk membedakan jaringan sehat dan patologis (Tefa dkk., 2025). Pencitraan berbobot T2WI (T2-*Weighted imaging*) merupakan bagian penting dari pemeriksaan MRI, karena dapat mempercepat waktu pemindaian sekaligus memberikan kontras yang sebanding dengan *spin echo* konvensional. Namun, pulsa *rephasing* 180° pada FSE serta waktu relaksasi T1 lemak yang singkat dapat memengaruhi citra, sehingga menghasilkan sinyal lemak yang tampak terang pada citra T2-*Weighted*. Sinyal lemak yang meningkat dapat menyamarkan batas tumor maupun penyebaran ke jaringan sekitar, seperti parametrium atau organ pelvis (Agrilian dkk., 2023). Oleh karena itu, pada citra T2-*Weighted* umumnya ditambahkan teknik fatsat untuk menekan sinyal lemak, sehingga visualisasi lesi dan keterlibatan jaringan sekitar serviks menjadi lebih jelas.

Signal-to-Noise Ratio (SNR) adalah perbandingan antara sinyal dengan *noise* yang sangat menentukan kualitas citra, semakin besar sinyal yang diterima semakin tinggi nilai SNR (Fathyan dan Rahardian., 2024). Sementara itu, *Contrast-to-Noise Ratio* (CNR) adalah parameter yang menilai perbedaan kontras antara struktur target dengan latar belakang dengan mempertimbangkan derau. CNR berperan penting dalam kemampuan pencitraan untuk membedakan jaringan yang berdekatan, sehingga sering digunakan sebagai indikator resolusi kontras (Idrissi dan Simeonova-Brachot., 2025).

Penelitian mengenai analisis kualitas citra MRI sebelumnya telah dilakukan dengan menggunakan variasi *Flip Angle* (FA) sebesar 10° , 15° , dan 20° melalui metode *female pelvic susceptibility-Weighted imaging* (FP-SWI). Hasil penelitian

menunjukkan bahwa FA 10° menghasilkan nilai SNR dan CNR yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan FA 15° dan 20° pada sebagian besar anatomi ($P < 0,05$) (Liu dkk., 2024). Penelitian analisis variasi *Flip Angle* terhadap informasi citra anatomi pada 3D TOF MRA Brain MRI 3 tesla (Fatimah dkk., 2021). Penelitian terkait penggunaan kumparan endovaginal secara konsisten menghasilkan nilai SNR dan CNR yang lebih tinggi, dapat memberikan informasi klinis kanker serviks (Zhang dkk., 2024). Penelitian terkait teknik *Fat Saturation* yang berguna menekan lemak dalam jumlah dengan bahan kontras untuk pencitraan pembobotan T1 (Chandra dan Jeniyanti., 2024). Penelitian terkait pencitraan single-shot dengan sudut *Flip Angle* refocusing variabel memberikan waktu pemindaian yang lebih cepat, perbaikan kontras, dan peningkatan SNR (Jabarkheel dkk., 2020).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, sebagian besar studi masih berfokus pada variasi *Flip Angle* pada organ lain atau menggunakan metode pencitraan yang berbeda, sedangkan kajian mengenai pengaruh variasi *Flip Angle* pada teknik *Fat Saturation* berbobot T2 khususnya untuk kanker serviks masih sangat terbatas. Kualitas citra MRI sendiri sangat dipengaruhi oleh parameter penting seperti *signal-to-noise ratio* (SNR) dan *contrast-to-noise ratio* (CNR). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi kekosongan tersebut dengan mengkaji pengaruh variasi *Flip Angle* terhadap kualitas citra diagnostik kanker serviks.

1.2 Tujuan Penelitian

Mengkaji perubahan nilai *Signal to Noise* (SNR) dan *Contrast to Noise Ratio* (CNR) terhadap variasi *Flip Angle* pada pencitraan MRI T2-*Weighted* dengan teknik *Fat Saturation* pada kasus kanker serviks.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat dalam pengembangan ilmu fisika, khususnya fisika medis, terkait optimasi parameter pencitraan MRI untuk meningkatkan kualitas citra kanker serviks.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 18 Desember 2025 hingga 6 Februari 2026. Tempat pelaksanaan penelitian dilakukan di Rumah Sakit Pendidikan UNHAS pada Instalasi Radiologi.

2.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini digunakan beberapa alat utama yang mendukung proses pengambilan citra MRI. Alat-alat yang digunakan meliputi perangkat utama pencitraan, perangkat pendukung pemeriksaan pasien, serta perangkat pengolahan data, berikut alat dan bahan yang digunakan:

a). Pesawat MRI 1,5 Tesla



Gambar 1. Pesawat MRI 1,5 T

Penelitian ini menggunakan pesawat *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) *Philips Ingenia Ambition* dengan kekuatan medan magnet 1,5 Tesla yang diproduksi pada tahun 2019. Sistem MRI ini dilengkapi dengan berbagai *sequence* yang umum digunakan dalam pemeriksaan, antara lain *T1-Weighted*, *T2-Weighted*, *Diffusion Weighted Imaging* (DWI), *Gradient Echo* (GRE), *Short Tau Inversion Recovery* (STIR), *Spectral Presaturation with Inversion Recovery* (SPIR/SPAIR), *Inversion Recovery* (IR), serta *Susceptibility Weighted Imaging* (SWI), yang masing-masing memiliki keunggulan dalam menampilkan karakteristik jaringan selama proses pemeriksaan berlangsung.

b). Array Coil



Gambar 2. Array Coil

Pada pemeriksaan MRI konvensional, *array coil* digunakan pada pemeriksaan pelvic untuk membantu mengidentifikasi jaringan serta menentukan lokasi spesifik tumor melalui pencitraan multi-sudut dan multi-parameter. Kegunaan *radiofrequency* (RF) *coil* sebagai penerima sinyal dari jaringan tubuh setelah pemberian pulsa radiofrekuensi. *Array coil* sebagai *receiver coil* untuk menangkap sinyal dari area pelvis sehingga dapat meningkatkan kualitas sinyal dan menghasilkan citra dengan resolusi yang optimal. Penggunaan coil ini membantu menghasilkan visualisasi yang lebih jelas pada organ uterus, kandung kemih, dan jaringan lesi kanker serviks (Wu dkk., 2025).

c). *IntelliSpace Portal* (ISP)

IntelliSpace Portal (ISP) merupakan perangkat lunak advance visualization dan post-processing citra medis yang dikembangkan oleh Philips untuk mendukung analisis data pencitraan radiologi seperti MRI, CT, dan PET. Sistem ini membantu radiolog, seperti rekonstruksi 3D, analisis kuantitatif, serta evaluasi detail struktur anatomi dan kelainan patologis.

d). *RadiAnt DICOM Viewer*

Perangkat lunak untuk menampilkan dan menganalisis kualitas citra berformat DICOM dari modalitas seperti MRI, yang dapat digunakan untuk menentukan dan mengukur *Region Of Interest* (ROI) pada area tertentu dalam citra medis untuk keperluan analisis lebih lanjut

2.3 Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan penentuan kriteria sampel untuk memastikan data yang digunakan sesuai dengan tujuan penelitian. Kriteria sampel ditetapkan berdasarkan jenis kelamin dan rentang usia pasien sebagaimana ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 1. Kriteria sampel penelitian

NO	Kategori	Kriteria/Detail	Jumlah (Pasien)
1	Jenis Kelamin	Perempuan	10
2	Rentang Usia	40 – 60 Tahun	10
3	Berat Badan	40 – 60 kg	10

Berdasarkan proses pengumpulan data, diperoleh kriteria sampel penelitian yang dikelompokkan berdasarkan jenis kelamin dan rentang usia pasien. Seluruh sampel dalam penelitian ini merupakan pasien perempuan, mengingat penelitian berfokus pada kasus kanker serviks yang hanya terjadi pada wanita. Selain itu, sampel juga diklasifikasikan berdasarkan kategori usia, yaitu kelompok usia 40–60 tahun. Pembagian rentang usia ini dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik pasien yang berada pada kelompok risiko tinggi terjadinya kanker serviks (Idris dkk., 2023). Rentang usia 40–60 tahun dalam beberapa jurnal ilmiah juga dikategorikan

sebagai *middle adulthood* (dewasa madya), yaitu fase kehidupan di mana individu berada pada masa dewasa pertengahan yang sering dikaitkan dengan peningkatan risiko berbagai penyakit degeneratif maupun keganasan (Khairatunni., 2024).

Tabel 2. Parameter pencitraan pada pesawat MRI 1,5 Tesla

PARAMETER T2-WEIGHTED (1,5 T)	
TR	1266 ms
TE	80 ms
<i>Slice Thickness</i>	6 mm
<i>Flip Angle</i>	60°, 90°, 120°
Jumlah <i>Slice</i>	20
<i>Matrix</i>	168 × 168
FOV	250 × 250 mm
<i>Intersection GAP</i>	4 mm
NEX	1
Orientasi	Sagittal

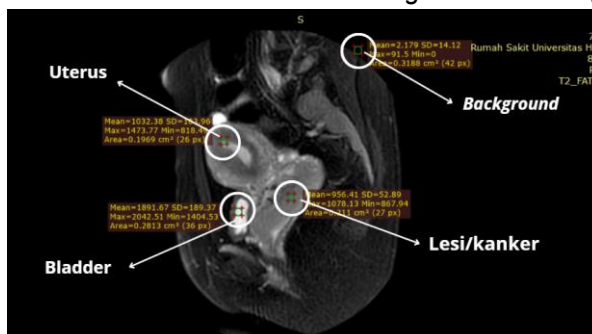
Parameter pencitraan MRI yang digunakan dalam penelitian ini memiliki peranan penting dalam menentukan kualitas citra yang dihasilkan. Parameter seperti TR, TE, *slice thickness*, FOV, *matricks*, orientasi serta NEX mempengaruhi resolusi spasial, kontras jaringan, dan tingkat *noise* pada citra MRI. Oleh karena itu, penggunaan parameter yang konsisten sangat diperlukan agar hasil citra yang diperoleh dapat dibandingkan secara objektif. Pada penelitian ini, parameter dasar pencitraan seperti TR, TE, FOV, ketebalan irisan, *matricks*, *intersection gap*, dan NEX dibuat tetap (konstan) pada setiap proses akuisisi citra. Hal ini dilakukan untuk menjaga keseragaman kualitas citra serta meminimalkan pengaruh faktor lain terhadap nilai intensitas sinyal yang diperoleh. Dengan demikian, perubahan kualitas citra yang terjadi dapat dipastikan hanya disebabkan oleh variasi parameter yang diteliti, yaitu *Flip Angle*.

Penelitian ini menggunakan citra MRI T2-*Weighted* pada bidang sagittal untuk memperlihatkan massa pada serviks serta perluasan tumor ke jaringan di sekitarnya seperti vagina sehingga membantu dalam penentuan stadium kanker (Sharma., 2025). Dengan variasi *Flip Angle* yang digunakan secara berturut-turut adalah 60°, 90°, dan 120°. Pengambilan data secara berulang dengan parameter yang sama bertujuan untuk memperoleh hasil yang konsisten dan meningkatkan validitas penelitian. Selain itu, metode ini memungkinkan perbandingan yang lebih akurat terhadap nilai SNR dan CNR yang dihasilkan dari setiap variasi *Flip Angle*. Dengan menjaga parameter lain tetap konstan dan hanya memvariasikan *Flip Angle*, penelitian ini dapat secara jelas mengevaluasi pengaruh perubahan *Flip Angle* terhadap kualitas citra MRI dalam pemeriksaan kanker serviks.

2.3.1 Penentuan *Region Of Interest* (ROI)

Kajian kualitas citra MRI pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *RadiAnt DICOM Viewer*. Perangkat lunak ini digunakan untuk

menampilkan citra *DICOM* serta melakukan pengukuran kuantitatif terhadap intensitas sinyal pada area tertentu melalui metode *Region of Interest* (ROI).



Gambar 3. Penentuan ROI pada citra

Penentuan *Region of Interest* (ROI) merupakan tahap penting dalam proses analisis citra MRI yang bertujuan untuk menentukan area jaringan yang akan diamati secara spesifik. Pada penelitian ini, penentuan ROI dilakukan dengan ukuran yang telah ditetapkan secara konsisten untuk menjaga keseragaman pengukuran. ROI pada organ uterus, *bladder*, dan area lesi ditetapkan sebesar 0,2 cm², sedangkan ROI pada area background ditetapkan lebih besar yaitu 0,3 cm². Perbedaan ukuran ini dilakukan karena ROI background bertujuan untuk merepresentasikan *noise* secara lebih stabil, sehingga diperlukan area yang lebih luas agar nilai deviasi standar yang diperoleh lebih akurat. Sementara itu, ROI pada jaringan anatomi dan lesi dibuat lebih kecil agar tetap berada dalam batas struktur yang diamati serta menghindari efek *partial volume* dari jaringan di sekitarnya. Proses penentuan ROI dilakukan dengan cara memilih area yang memiliki kontras sinyal yang jelas antara jaringan normal dan jaringan abnormal. Penentuan ini dilakukan secara manual menggunakan perangkat lunak *RadiAnt DICOM* dengan mengacu pada batas anatomi serviks serta karakteristik sinyal tumor pada citra *T2-Weighted*. ROI yang telah ditentukan kemudian digunakan sebagai dasar dalam kajian lebih lanjut, seperti pengukuran kualitas citra dan perbedaan kontras antara dua jaringan antara jaringan normal dan jaringan abnormal.

Dari setiap ROI yang dipilih, *RadiAnt* secara otomatis menampilkan parameter statistik seperti nilai rata-rata intensitas sinyal (*mean*), standar deviasi (*SD*), nilai maksimum, nilai minimum, serta luas area ROI. Nilai rata-rata sinyal digunakan dalam perhitungan SNR, sedangkan standar deviasi *background* digunakan sebagai nilai *noise*. Perbedaan nilai sinyal antar jaringan kemudian digunakan untuk menghitung CNR.

2.3.2 Analisis Data

Data yang diperoleh dari penentuan ROI selanjutnya dianalisis untuk menghitung nilai SNR dan CNR. Perhitungan ini bertujuan untuk menilai kualitas citra MRI yang dihasilkan pada setiap variasi *Flip Angle*, dihitung dengan rumus:

$$SNR = \frac{\bar{S}}{N} \quad (1)$$

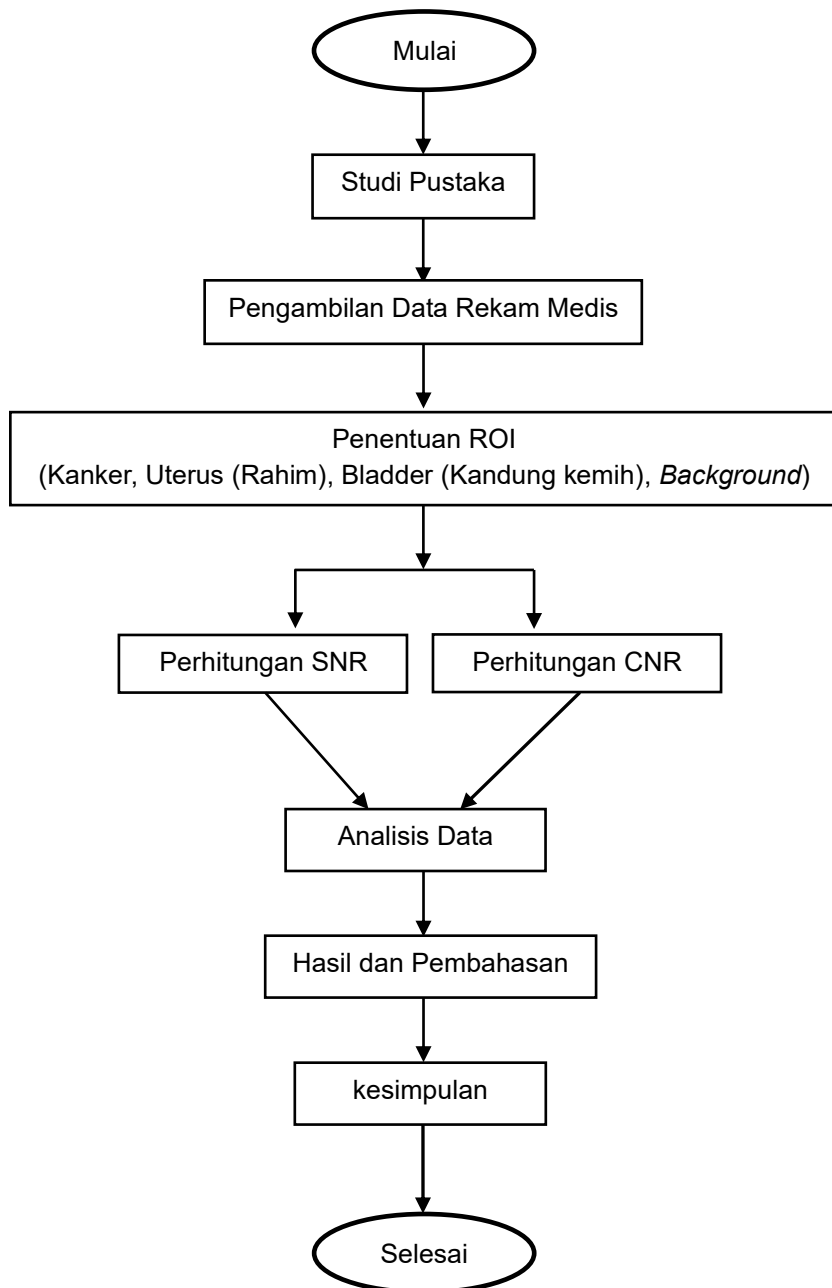
Dengan $\bar{S}$ adalah rata-rata nilai sinyal pada ROI jaringan, sedangkan N adalah standar deviasi *noise* pada ROI latar belakang citra. Nilai SNR digunakan untuk menunjukkan perbandingan antara rata-rata intensitas sinyal jaringan terhadap tingkat *noise* pada citra. Semakin tinggi nilai SNR, maka kualitas citra yang dihasilkan semakin baik karena sinyal jaringan lebih dominan dibandingkan *noise* (Zhang dkk., 2024).

Selain itu, dihitung nilai CNR untuk mengetahui tingkat perbedaan kontras antara dua jaringan yang diamati, yaitu antara jaringan tumor dan jaringan normal di sekitarnya. Nilai CNR yang tinggi menunjukkan bahwa perbedaan karakteristik sinyal antar jaringan terlihat lebih jelas pada citra MRI, dihitung dengan rumus :

$$CNR = \frac{|\bar{S}_1 - \bar{S}_2|}{N} \quad (2)$$

Hasil perhitungan SNR dan CNR dari masing-masing variasi *Flip Angle* kemudian dibandingkan untuk menentukan parameter pencitraan yang menghasilkan kualitas citra paling optimal. Selanjutnya, kajian dilakukan untuk mengetahui signifikansi perbedaan nilai SNR dan CNR antar variasi *Flip Angle* yang digunakan (Zhang dkk., 2024).

2.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram alir penelitian