

**IMPLEMENTASI ALGORITMA PENCARIAN UNTUK
PEMETAAN PERTUKARAN PADA PROGRAM PERTUKARAN
GINJAL**

Laporan Tugas Akhir I

**Disusun sebagai syarat kelulusan mata kuliah
IF4091/Tugas Akhir I dan Seminar**

**Oleh
Leonardo
NIM : 13517048**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
SEKOLAH TEKNIK ELEKTRO & INFORMATIKA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
DESEMBER 2020**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA Pencarian Untuk
Pemetaan Pertukaran Pada Program Pertukaran
Ginjal**

Laporan Tugas Akhir I

Oleh

Leonardo

NIM : 13517048

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung

Bandung, 7 Desember 2020

Mengetahui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Fazat Nur Azizah, S.T., M.Sc.

NIP. 197902102009122001

Ardian Umam, S.T., M.Sc.

NIP. 119110074

DAFTAR ISI

PENDAHULUAN	6
Latar Belakang	6
Rumusan Masalah	7
Tujuan	8
Batasan Masalah	8
Metodologi	8
Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir	10
STUDI LITERATUR	11
Transplantasi Ginjal	11
Golongan Darah	11
Universal Donor	11
Universal Recipient	12
Panel-Reactive Antibody	12
Program-program Donor Ginjal	13
Program Transplantasi Donor Mayat	13
Program Transplantasi Donor Hidup	14
Direct Donor atau Live Donation	14
Unrelated Live Donation	15
Kidney Paired Donation Program	15
List Exchange Program	17
Metodologi	17
Graf Berarah	17
Graf Kompatibilitas (Compatibility Graph)	17
Algoritma Pencarian Siklus (Cycle Detection) pada Graf Berarah	18
Algoritma Pencarian Pemetaan Kecocokan	20
Edmond's Algorithm	20
Greedy First-Accept Searching	22
Priority-based Searching	24
Metrik Kinerja	26

Matching Efficiency	26
ALGORITMA PENCARIAN N ARAH UNTUK PEMETAAN PERTUKARAN PADA PROGRAM PERTUKARAN GINJAL	27
Analisis Masalah	27
Analisis Solusi	27
Deskripsi Rancangan Solusi	28
Donor-Recipient Medical Data	28
Algoritma-algoritma pada Backend	28
Compatibility Graph Builder	29
Algoritma-algoritma Pencarian Kecocokan N Arah	29
User Interface	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 <i>Two-way Exchange</i> pada program KPD	16
Gambar II.2 <i>Three-way Exchange</i> pada program KPD	17
Gambar II.3 Contoh Graf Berarah dengan 10 simpul dan 14 sisi	18
Gambar II.4 Siklus pada Graf Berarah	19
Gambar II.5 <i>Flowchart</i> Algoritma Pencarian Siklus untuk program KPD	20
Gambar II.6 <i>Flowchart Edmond's Algorithm</i>	22
Gambar II.7 <i>Flowchart</i> Algoritma <i>Greedy First-Accept Matching</i>	24
Gambar II.8 <i>Flowchart</i> Algoritma <i>Priority-based Searching</i>	26
Gambar III.1 Diagram Blok Sistem Pencocokan Program Pertukaran Ginjal	29

DAFTAR TABEL

Tabel I.1 Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir 1	11
Tabel I.2 Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir 2	11
Tabel II.1 Tabel Kompatibilitas Golongan Darah Penerima dan Pemberi Donor Ginjal	12

DAFTAR SINGKATAN

- KPD : *Kidney Paired Donation*
KEP : *Kidney Exchange Program*
HLA : *Human Leucocyte Antigen*
MHC : *Major Histocompatibility Complex*
PRA : *Panel-Reactive Antibody*

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Di dunia kesehatan, terdapat banyak hal yang dapat menimbulkan masalah. Sebagian besar masalah yang terjadi dapat menelan korban jiwa dari pasien-pasien yang membutuhkan pertolongan. Salah satu dari masalah yang dapat timbul dari bidang kesehatan ada pada cabang ilmu kedokteran nefrologi, atau lebih akrab disebut dengan ilmu kedokteran ginjal.

Ginjal manusia merupakan salah satu organ terpenting pada sistem ekskresi manusia. Ginjal manusia berfungsi untuk mengeluarkan zat-zat sisa metabolisme dan juga limbah kotoran di tubuh melalui urin. Akan tetapi, tidak semua orang cukup beruntung untuk memiliki ginjal yang sehat, beberapa orang bahkan tidak memiliki satupun ginjal yang fungsional di tubuhnya. Tidak memiliki ginjal yang berfungsi tentunya merupakan suatu masalah besar pada manusia. Dari suatu masalah, muncul suatu solusi. Solusi itu adalah transplantasi ginjal.

Setiap manusia dilahirkan dengan dua buah ginjal, dan pada umumnya, manusia dapat bertahan hidup dengan hanya satu buah ginjal sebagai pusat dari sistem ekskresinya. Oleh karena itu, salah satu dari ginjal sehat seorang manusia dapat didonasikan dan digunakan oleh seorang pasien yang memiliki kebutuhan akan ginjal yang sehat dan fungsional. Program ini disebut juga sebagai program transplantasi ginjal.

Terlepas dari adanya program transplantasi ginjal, sangat banyak pasien yang membutuhkan transplantasi ginjal tidak mendapatkan donasi yang mereka butuhkan. Di Indonesia sendiri, sekitar 100,000 orang pasien memerlukan ginjal transplantasi setiap tahunnya, namun hanya sekitar 20% dari total pasien tersebut yang dapat tertolong dari program transplantasi ini. Hal ini disebabkan oleh masalah-masalah yang timbul seperti masalah finansial, masalah regulasi, dan salah satu yang paling sering terjadi, masalah ketersediaan (Wiradarma, 2016).

Masalah ketersediaan umumnya terjadi karena tidak adanya orang lain yang bersedia untuk mendonorkan ginjalnya. Lalu jika seseorang sudah bersedia untuk mendonorkan ginjalnya, orang yang bersangkutan mungkin tidak memiliki ginjal yang cukup sehat untuk didonasikan. Lalu jika orang yang sudah bersedia memiliki ginjal yang cukup sehat untuk didonasikan, ginjal tersebut belum tentu cocok untuk ditanamkan pada tubuh pasien yang dituju.

Banyak muncul keresahan baik dari sisi pendonor maupun dari sisi pasien mengenai ketidakcocokan ini. Jika ginjal tidak cocok untuk ditanamkan, maka donor tidak dapat dilakukan. Oleh karena itu, muncullah *Kidney Exchange Program* (KEP) atau disebut juga program pertukaran ginjal. Pada program ini, pasangan pendonor-pasien yang tidak cocok dapat dicocokkan dengan sumber-sumber ginjal transplantasi lainnya untuk mendapatkan kecocokan sehingga donor ginjal tetap dapat dilakukan dan lebih banyak pasien yang dapat selamat karena berhasil menerima transplantasi ginjal.

Untuk melakukan program pertukaran ginjal ini tidaklah mudah, diperlukan banyak sumber daya manusia untuk dapat mencari kecocokan-kecocokan yang optimal untuk para pasien. Dikarenakan sangat banyaknya pasangan donor-pasien yang ada, pencarian kecocokan-kecocokan ini sangat sulit untuk dilakukan oleh manusia.

I.2 Rumusan Masalah

Di era digital ini, sudah banyak sistem dan algoritma yang menyelesaikan masalah pencarian yang telah dijelaskan sebelumnya. Implementasi algoritma-algoritma pencarian kecocokan untuk program pertukaran ginjal sudah sangat banyak dilakukan dan diaplikasikan oleh instansi-instansi kedokteran di dunia. Meskipun sudah banyak, terdapat dua buah masalah yaitu:

1. Pada aplikasi-aplikasi yang pernah dibuat, algoritma-algoritma yang digunakan tidak mampu mencari solusi jika dilakukan pertukaran yang bersifat lebih dari dua arah (*two-way exchange*). Kemampuan sistem untuk mencari kecocokan-kecocokan saat pertukaran dilakukan secara n arah

(*n-way exchange*) dapat meningkatkan jumlah kecocokan dari pasangan-pasangan donor-pasien secara drastis.

2. Algoritma *n* arah yang sudah ada hanya bersifat konseptual dan tidak digunakan langsung pada data asli. Sehingga algoritma yang ada tidak dijamin optimal dan efisien. Efisiensi penting karena pasien perlu mendapatkan ginjal secepatnya. Walaupun hasil pemetaan maksimal, akan percuma jika algoritma berjalan dalam durasi yang sangat lama.

I.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang disampaikan, berikut adalah tujuan-tujuan dari pengerjaan Tugas Akhir ini:

1. Membuat algoritma pencarian pemetaan kecocokan untuk *Kidney Exchange Program* secara *n* arah. Algoritma pencarian pemetaan sebanyak *N* arah diharapkan dapat meningkatkan jumlah kecocokan yang terjadi.
2. Mencari algoritma pencarian pemetaan kecocokan yang efisien untuk penyelesaian masalah. Pada kasus pendonoran ginjal, tentunya semakin cepat seorang pasien mendapatkan donor, semakin baik. Efisien yang dimaksud disini bukan hanya kecepatan, namun juga banyaknya kecocokan yang bisa didapatkan dari sekumpulan pasangan yang membutuhkan.
3. Membuat suatu sistem pembuat keputusan berbasis *web* untuk mensimulasikan pencarian pemetaannya.

Prioritas ketercapaian dari tujuan-tujuan saya terurut sesuai nomor, dengan nomor 1 adalah prioritas ketercapaian tertinggi.

I.4 Batasan Masalah

Batasan dari permasalahan ini adalah untuk hanya mengimplementasikan algoritma-algoritma pencarian kecocokan pada donor hidup dan pasangan resipien yang tidak cocoknya saja. Pada pelaksanaan tugas akhir ini, tidak dilakukan implementasi untuk mencari kecocokan antara pasangan tidak kompatibel dengan donor ginjal *cadaver* (ginjal sehat yang berasal dari mayat).

Selain itu, sistem yang dibuat tidak akan melakukan pencarian pemetaan kecocokan untuk pasangan baru yang ingin mendaftar. Pendaftaran hanya dapat dilakukan saat *batch* selanjutnya dilaksanakan untuk dilakukan pencocokan dengan pasangan-pasangan yang mendaftar pada *batch* yang bersangkutan. Sistem yang dibuat juga tidak dapat membantu proses pengecekan tingkat *Panel-Reactive Antibody* (PRA) dari pasien setelah hasil pemetaan pencocokan keluar.

I.5 Metodologi

Berikut adalah tahapan-tahapan yang akan dilalui dalam proses pengerjaan tugas akhir:

1. Perencanaan

Pada proses awal ini, dilakukan penentuan topik spesifik, latar belakang permasalahan, dan juga pembelajaran mengenai topik melalui literatur-literatur yang sudah ada terkait topik. Setelah itu, dilakukan perencanaan mengenai apa saja yang akan dilakukan selama proses pengerjaan Tugas Akhir. Pada tahap ini juga dilakukan eksplorasi mengenai mungkin atau tidaknya diimplementasikan algoritma untuk melakukan *n-way exchange* pada sistem yang nantinya akan dibuat.

2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini, data-data mengenai pasangan pendonor dan pasien dikumpulkan. Data dapat diperoleh dari berbagai sumber, seperti rumah sakit lokal, data-data *open source*, maupun penulis paper lain. Data yang didapat berisikan tentang informasi-informasi medis dari pasien dan juga pendonor. Baik itu kondisi kesehatan, golongan darah, maupun juga *Panel-Reactive Antibody* (PRA) dari pasien calon penerima donor ginjal yang bersangkutan. Pada tahap ini, diusahakan untuk dapat memperoleh data yang bersifat baru dan berasal dari Indonesia, agar hasil yang didapatkan sistem akurat dan relevan untuk masyarakat.

3. Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh pada proses sebelumnya diolah agar bersih, sesuai format, rapi, dan juga konsisten. Data dibentuk menjadi bentuk

yang dapat dimasukkan ke algoritma-algoritma pencarian untuk mendapatkan hasil. Terdapat beberapa teknik pengolahan data seperti pembersihan, reduksi, dan juga transformasi.

4. Implementasi Algoritma-algoritma Pencarian

Pada tahap ini, diimplementasikanlah beberapa buah algoritma pencarian yang dapat memproses data pasangan pendonor-pasien transplantasi ginjal yang tidak cocok dan mencocokkannya dengan pasangan-pasangan lain agar didapatkan kecocokan paling banyak. Algoritma-algoritma tersebut dapat memproses data-data tersebut dan mengembalikan kumpulan kecocokan antar pasangan pendonor-pasien.

5. Pembuatan Sistem Pembuat Keputusan

Setelah algoritma-algoritma pencarian diimplementasi, dibuatlah suatu sistem berisi algoritma-algoritma pencarian tersebut. Selain mengembalikan kumpulan kecocokan, sistem juga akan mengembalikan waktu berjalannya algoritma-algoritma yang dipakai. Berdasarkan dua hal ini, didapat kesimpulan mengenai algoritma terbaik berdasarkan banyaknya pasien yang dapat menerima transplantasi ginjal dan juga berdasarkan waktu berjalannya algoritma.

6. Evaluasi dan Analisis

Pada tahap ini, hasil dari pencarian pemetaan kecocokan setiap algoritma akan dianalisis dan dievaluasi. Hal yang dievaluasi ada dua hal, yaitu banyaknya kecocokan yang terjadi, dan juga waktu berjalannya algoritma. Semakin banyak kecocokan yang terjadi berarti semakin banyak pasien yang dapat menerima ginjal donor.

I.6 Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir

Berikut adalah jadwal detil dari proses pengerjaan tugas akhir dalam bentuk tabel *timeline*:

Kegiatan	Agustus				September				Oktober				November				Desember			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
Pemilihan Topik																				
Pemilihan Dosen Pembimbing																				
Analisis Permasalahan																				
Studi Literatur																				
Dokumen Bab 2																				
Dokumen Bab 1																				
Analisis Perencanaan dan <i>Proof of Concept</i>																				
Dokumen Bab 3																				
Pengumpulan Buku TA1																				
Seminar TA1																				

Tabel I.1. Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir 1

Kegiatan	Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
Pengerjaan Implementasi Solusi																								
Analisis Penyelesaian Masalah																								
Perancangan Solusi																								
Pembuatan dan Pengembangan																								
Seminar TA2																								
Validasi Solusi dan Laporan																								
Sidang TA2																								

Tabel I.2. Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir 2

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1 Transplantasi Ginjal

Sebelum melakukan transplantasi ginjal, perlu dilakukan dua macam pengetesan darah baik dari pihak pemberi donor maupun pihak penerima donor. Hal-hal yang harus dites kecocokannya ialah golongan darah kedua pihak dan juga *Panel-Reactive Antibody* (PRA) dari pasien penerima donor. Kedua hal ini akan dijabarkan sebagai berikut:

II.1.1 Golongan Darah

Pengetesan golongan darah adalah tes darah yang pertama dilakukan oleh penerima donor dan juga pemberi donor. Setelah sampel darah dari kedua pihak didapatkan, kecocokan dari golongan darah kedua pihak akan dibandingkan. Kecocokan atau kompatibilitas dari darah penerima dan juga pemberi donor dapat dilihat pada tabel berikut:

Penerima \ Pemberi	O	A	B	AB
O	1	0	0	0
A	1	1	0	0
B	1	0	1	0
AB	1	1	1	1

Tabel II.1 Tabel Kompatibilitas Golongan Darah Penerima dan Pemberi Donor Ginjal (*Raja, S, & K, 2011*)

Pada tabel di atas, angka 1 menyatakan bahwa pasangan pemberi dan penerima donor kompatibel. Sebaliknya, angka 0 menyatakan bahwa pasangan pemberi dan penerima donor tidak kompatibel.

II.1.1.1 Universal Donor

Pada tabel II.1, terdapat suatu keunikan yang terjadi untuk pemberi donor bergolongan darah O, yaitu ginjal donor yang bersifat cocok ke penerima donor

bergolongan darah apapun. Pemberi donor bergolongan darah O disebut juga sebagai *Universal Donor*.

II.1.1.2 Universal Recipient

Ada pula penerima donor yang bersifat universal. Berdasarkan tabel II.1.1, dapat dilihat bahwa penerima donor dengan golongan darah AB kompatibel dengan pemberi donor dari golongan darah apapun. Maka penerima donor dengan golongan darah AB disebut juga *Universal Recipient*.

II.1.2 Panel-Reactive Antibody

Jika golongan darah dari kedua pihak cocok, maka kedua pihak dapat melaksanakan tes darah yang kedua, yaitu tes *Human Leucocyte Antigen* (HLA). HLA adalah *Major Histocompatibility Complex* (MHC) milik manusia. HLA berperan untuk mengontrol respon sistem imun manusia melalui antigen dan untuk membedakan sel-sel asing dan sel-sel tubuh. (Nguyen, Williams, Wong, Germaine, & Lim, 2013)

Pengetesan HLA dilakukan untuk mencegah serangan oleh sistem imun penerima donor kepada ginjal transplan yang diberikan pendonor. Penyerangan akan dilakukan saat ginjal pendonor dianggap sebagai suatu benda asing yang harus dimatikan oleh sistem imun penerima donor. Untuk mencegah terjadinya penyerangan, ginjal dari donor yang digunakan harus merupakan ginjal yang menyebabkan persentase reaksi terkecil. Untuk memudahkan pemilihan ginjal yang tepat, diperlukan algoritma pencocokan.

Pada tes yang dilakukan, HLA dari pasien calon penerima ginjal direaksikan dengan HLA dari calon pendonor. Hasil dari tes merupakan persentase yang menyatakan jumlah rejeksi akut yang disebabkan HLA pasien dari setiap pengetesan yang terjadi. Persentase ini disebut juga dengan *Panel-Reactive Antibody* (PRA) dari pasien. PRA pasien menyatakan persentase kemungkinan terjadi rejeksi yang akan terjadi saat ginjal donor dicangkokkan ke pasien.

Pada zaman modern ini, pengetesan HLA tidak terlalu banyak dilakukan karena sudah majunya perkembangan obat-obatan immunosupresan (obat untuk meredam respon imun dari tubuh manusia).

Kecocokan dan ketidakcocokan dari penerima dan pemberi donor inilah yang menyebabkan mayoritas pendonor berasal dari keluarga yang sama dengan penerima donor. Karena dari aspek golongan darah dan juga HLA, kecocokan lebih mudah didapatkan jika kedua belah pihak dari satu keluarga yang sama (contoh: Ibu sebagai pendonor, anak sebagai penerima).

II.2 Program-program Donor Ginjal

Tidak semua pasien yang membutuhkan transplantasi ginjal memiliki pendonor yang dapat memberikan ginjal. Untuk menanggulangi hal ini, dibuatlah beberapa program transplantasi ginjal yang masing-masing akan dijabarkan sebagai berikut:

II.2.1 Program Transplantasi Donor Mayat

Program ini adalah program donor dan transplantasi ginjal untuk ginjal yang berasal dari orang-orang yang sudah meninggal. Untuk setiap ginjal dari mayat tersedia dan dapat digunakan untuk transplantasi, maka dilakukan pencocokan dengan daftar pasien berkebutuhan donor ginjal yang telah mendaftarkan diri untuk menerima ginjal mayat. Perencanaan untuk transplantasi dilakukan saat didapatkan pasien pertama yang memiliki kecocokan sempurna dengan ginjal donor dari mayat. Prioritas dari setiap pasien untuk mendapatkan donor diatur menggunakan dua hal, yaitu waktu tunggu dan juga kecocokan golongan darah dengan mayat pendonor.

Meskipun terdengar efisien dan sangat bagus, program ini memiliki beberapa kelemahan, yaitu:

- Hanya sedikit mayat yang secara medis dapat menjadi pendonor. Sehingga jumlah ginjal yang didapatkan tetap lebih kecil dibandingkan dengan pasien yang membutuhkan donor.

- Banyak ginjal donor berkualitas rendah karena diambil dari orang mati. Sehingga tidak sedikit pasien yang menolak ginjal yang dipilih meskipun memiliki kecocokan yang sempurna.
- Tingkat kelangsungan hidup transplan lebih rendah dibandingkan dengan transplantasi donor hidup.

Kelemahan-kelemahan dari program transplantasi donor mayat diatasi oleh program transplantasi ginjal donor hidup.

II.2.2 Program Transplantasi Donor Hidup

Tidak seperti program yang sebelumnya, ginjal yang didapatkan dan digunakan dalam program transplantasi ini adalah ginjal dari orang hidup. Dibandingkan program transplantasi ginjal donor mayat, tingkat kelangsungan hidup dari penerima donor relatif lebih tinggi dan secara ketersediaan lebih banyak sehingga waktu tunggu pasien lebih rendah.

Meskipun lebih baik dari program transplantasi ginjal donor mayat, terkadang beberapa masalah muncul seperti ketidakcocokan antara pendonor dan penerima. Banyak orang dengan kemauan untuk mendonor tidak dapat mendonor dikarenakan adanya ketidakcocokan kepada calon penerima donor yang dituju. Berikut adalah program-program yang ada untuk meningkatkan kemungkinan pasien berkebutuhan ginjal transplan untuk mendapatkan donor dan transplantasi ginjal:

II.2.2.1 *Direct Donor atau Live Donation*

Program ini ditujukan untuk donor ginjal yang berasal dari anggota keluarga dan kerabat dari pasien berkebutuhan. Seperti yang telah dituangkan sebelumnya, kemungkinan untuk kecocokan lebih tinggi apabila pendonor berasal dari keluarga yang sama dengan penerima donor. Donor ini dilakukan salah satunya untuk pasien-pasien yang mengantre untuk donor ginjal mayat. Donor dilakukan apabila kecocokan antara pemberi donor dan penerima donor ginjal bersifat sempurna. Donor dilakukan secara langsung (*live*). (Raja, S, & K, 2011)

II.2.2.2 *Unrelated Live Donation*

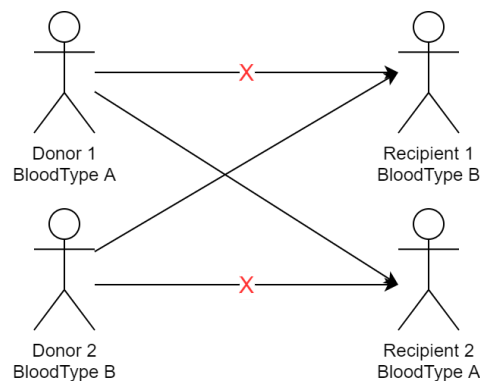
Sama seperti program *Direct Donor*, program ini dilakukan secara langsung. Namun untuk pendonor yang tidak berasal dari keluarga yang sama dari pasien calon penerima donor. Seperti program sebelumnya, donor juga dilakukan saat terdapat kecocokan sempurna antara pemberi donor dan penerima donor ginjal. (Raja, S, & K, 2011)

II.2.2.3 *Kidney Paired Donation Program*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pada nyatanya, tidak jarang terjadi ketidakcocokan antara pendonor dan juga pasien calon penerima bahkan meskipun kedua pihak berasal dari keluarga yang sama. Oleh karena itu, donor secara langsung tidak dapat dilakukan. Pasien akan membutuhkan ginjal dari donor lain yang terkadang sulit ditemukan.

Untuk menyelesaikan masalah ini, pendonor dan pasien calon penerima dapat melakukan registrasi pada program *Kidney Paired Donation (KPD) Exchange* atau biasa disingkat *Paired Exchange*. Program ini berfungsi untuk melakukan *pairing* atau pemasangan pendonor dan penerima donor yang cocok. Program ini memungkinkan penerima untuk mendapatkan ginjal dari donor lain yang ginjalnya tidak cocok untuk penerima yang seharusnya dan juga sebaliknya.

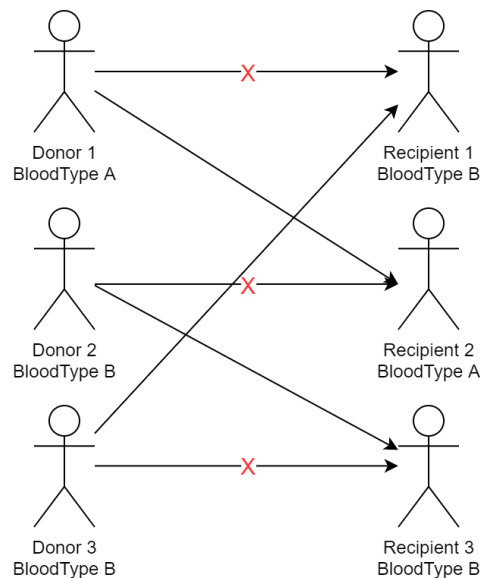
Pada program KPD terdapat beberapa cara melakukan pertukaran seperti *Two-way exchange* dan *Three-way exchange*. Tidak harus dua atau tiga arah, pertukaran dapat dilakukan hingga n arah.



Gambar II.1 *Two Way Exchange* pada program KPD

Seperti yang terlihat pada gambar II.2.1, pendonor 1 tidak dapat memberikan ginjalnya kepada penerima 1 dikarenakan golongan darah yang tidak kompatibel. Pada saat yang sama, pendonor 2 tidak dapat memberikan ginjalnya pula kepada penerima 2 karena perbedaan golongan darah. Saat dua pasangan yang masing-masing memiliki ginjal donor yang tidak cocok melakukan pertukaran sehingga terjadi kecocokan disebut sebagai *Two-way exchange*.

Jika kedua pasangan pendonor-penerima tetap tidak dapat melakukan pertukaran secara *two-way*, maka kedua pasangan ini akan dicocokkan dengan pasangan pendonor-penerima lain. Pertukaran ini disebut juga *Three-way exchange*, yang ilustrasinya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar II.2 *Three Way Exchange* pada program KPD

Pada contoh di Gambar II.2.2, Donor 3 tidak dapat memberikan ginjalnya kepada pasien 3 karena nilai PRA yang tinggi. Namun pasien 3 mendapatkan kecocokan dengan pendonor 2 sehingga pendonor 2 memberikan ginjalnya kepada pasien 3 dan ginjal dari pendonor 3 dapat diberikan kepada pasien 1.

Pencocokan untuk pertukaran ini dapat terjadi hingga n arah. Kekurangan dari pertukaran n arah ini adalah sumber daya kedokteran, kebutuhan infrastruktur, dan fasilitas logistik yang besar karena pertukaran ini harus dilakukan secara

bersamaan. Program *KPD* ini telah secara efektif berhasil meningkatkan jumlah pasien yang mendapatkan transplantasi ginjal di dunia.

II.2.2.4 *List Exchange Program*

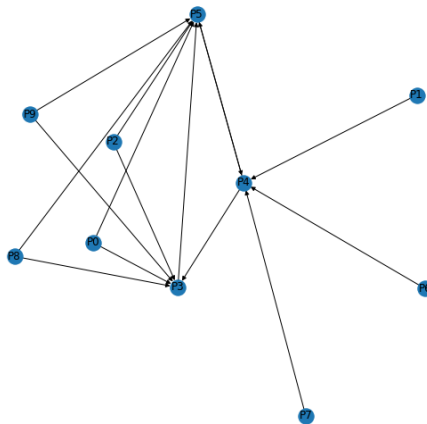
List Exchange Program bekerja seperti *KPD*, hanya saja pasangan yang inkompatibel tidak dipasangkan dengan pasangan lain, melainkan dipasangkan dengan antrean program transplantasi ginjal donor mayat.

II.3 Metodologi

Untuk metodologi penyelesaian masalah, dibutuhkan dasar-dasar dari ilmu informatika yang terkait dalam penyelesaian masalah yang akan dilakukan. Berikut adalah penjelasan-penjelasan secara teoritis mengenai ilmu-ilmu dasar yang dibutuhkan:

II.3.1 Graf Berarah

Dalam teori graf, graf berarah (*directed graph*) merupakan suatu graf yang terdiri dari sekumpulan simpul (*vertices*) dan dihubungkan oleh sisi (*edges*), dimana setiap sisi memiliki arah yang menunjukkan arah pergerakan yang dapat dilakukan dari suatu simpul ke simpul lainnya.



Gambar II.3 Contoh Graf Berarah dengan 10 simpul dan 14 sisi

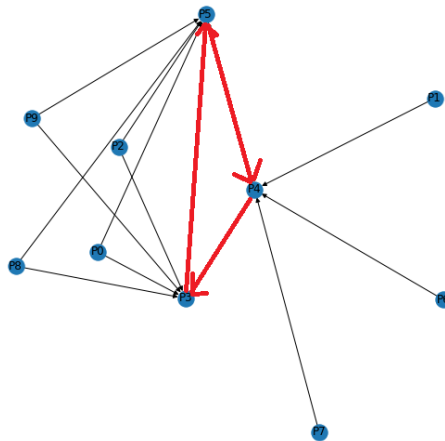
II.3.1.1 Graf Kompatibilitas (*Compatibility Graph*)

Sebelum data dimasukkan ke dalam algoritma pencarian pemetaan kecocokan, data yang merupakan data terstruktur berisikan informasi medis donor dan pasien

diubah terlebih dahulu menjadi suatu graf kompatibilitas. Graf kompatibilitas yang dibuat merupakan suatu graf berarah dengan simpul yang merupakan pasangan donor-pasien yang tidak cocok dan sisi yang merupakan arah donasi yang mungkin dari suatu pasangan ke pasangan lainnya.

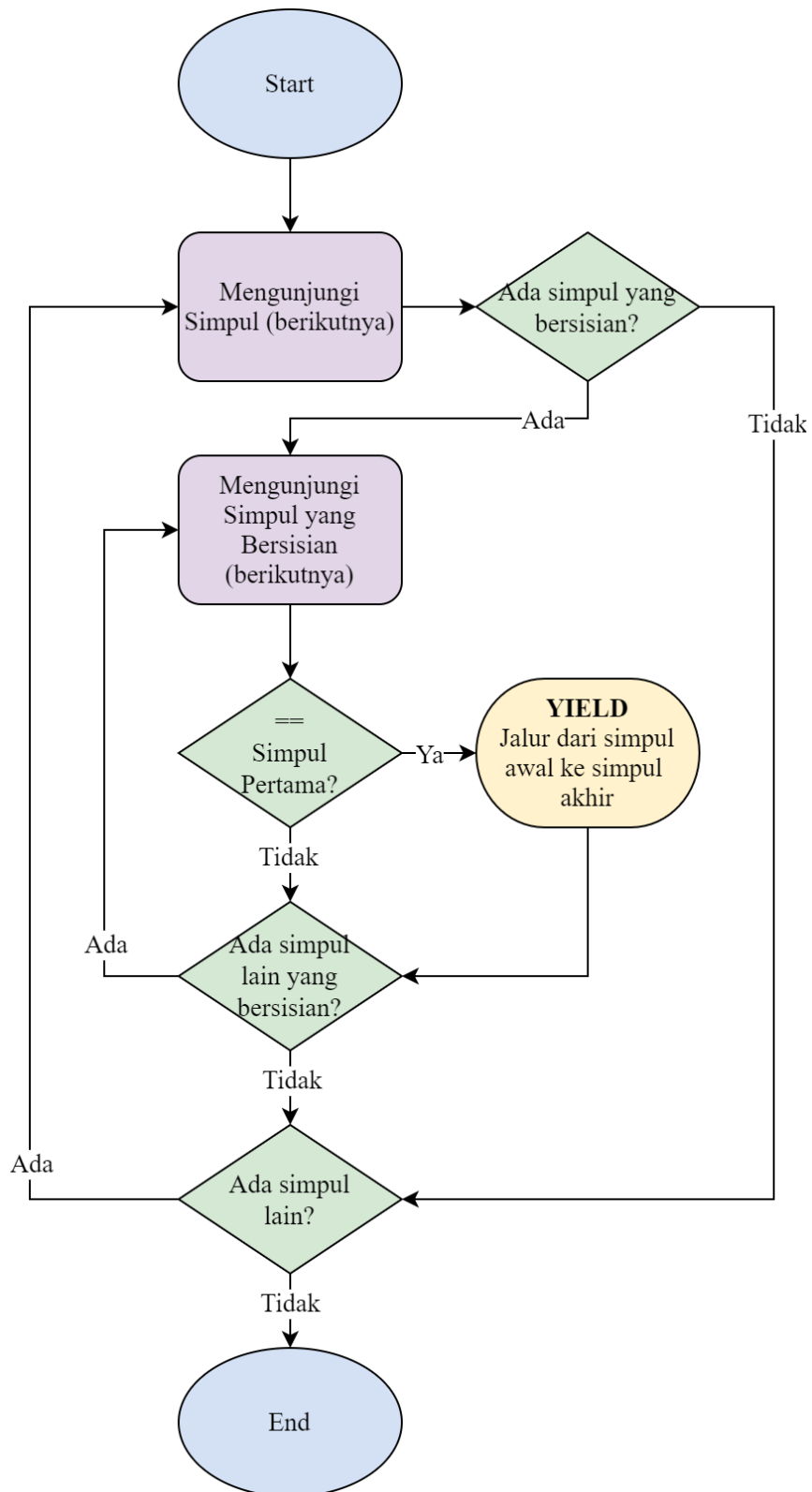
II.3.2 Algoritma Pencarian Siklus (*Cycle Detection*) pada Graf Berarah

Algoritma pencarian siklus merupakan algoritma yang digunakan untuk mencari keberadaan suatu jalur pergerakan pada graf yang dimulai dan selesai pada simpul yang sama. Pada program pertukaran ginjal, siklus yang terjadi merupakan arah dari pertukaran ginjal yang dilakukan. Jika siklus yang terjadi adalah $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$, maka pendonor A akan memberikan ginjalnya kepada pasien B, pendonor B akan memberikan ginjalnya kepada pasien C, dan pendonor C akan memberikan ginjalnya kepada pasien A. Pertukaran yang terjadi bersifat 3 arah (*three-way exchange*).



Gambar II.4 Siklus pada Graf Berarah

Pada program pertukaran, algoritma pencarian siklus dibuat untuk menemukan semua siklus yang terdapat pada graf kompatibilitas yang telah terbuat dari data. Berikut adalah *flowchart* dari algoritma pencarian siklus pada kasus ini:



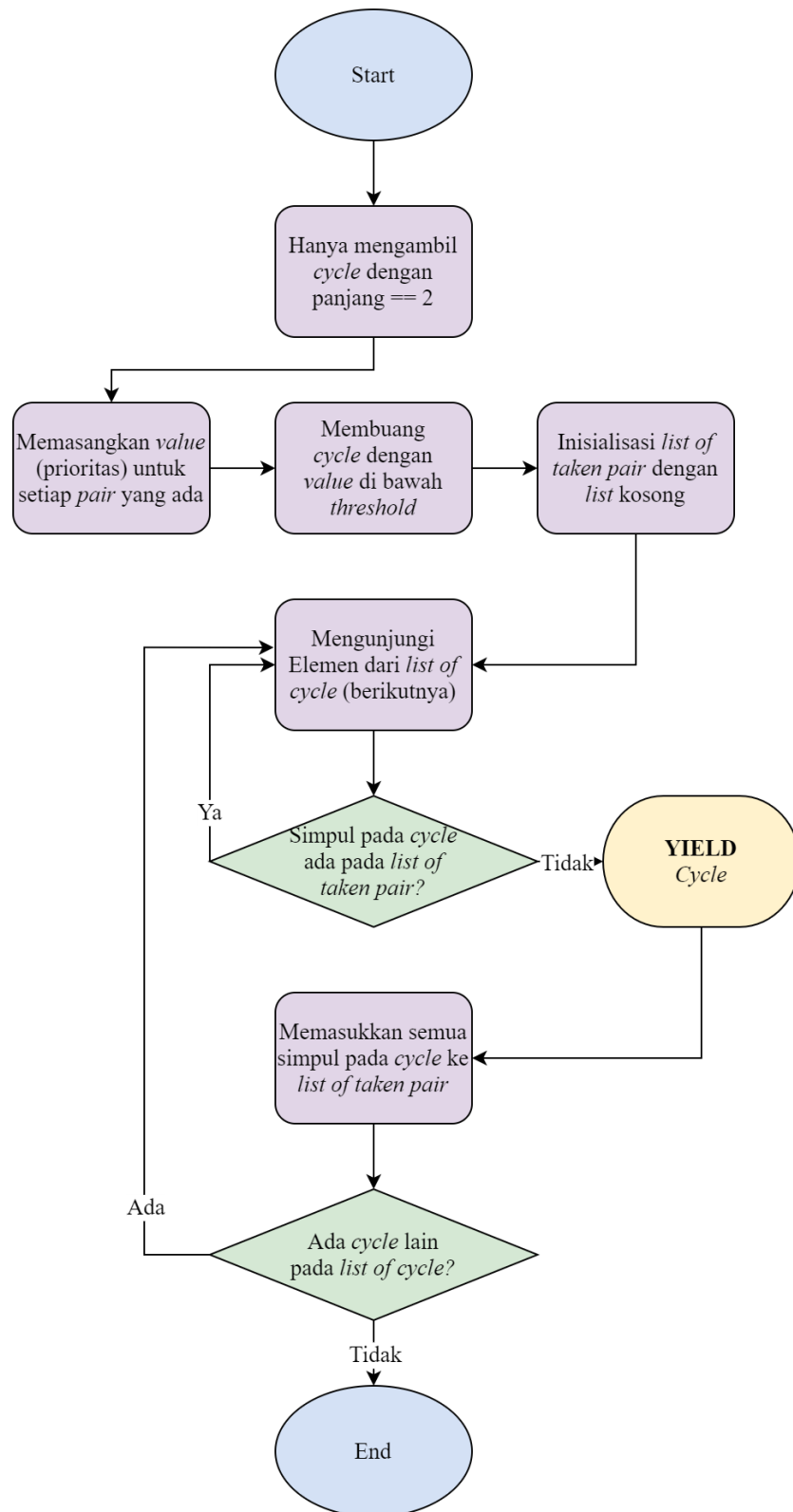
Gambar II.5 Flowchart Algoritma Pencarian Siklus untuk program KPD

II.3.3 Algoritma Pencarian Pemetaan Kecocokan

Algoritma ini digunakan untuk mencari setiap kecocokan yang terdapat pada suatu graf kompatibilitas yang telah dijelaskan sebelumnya. Graf kompatibilitas yang ada akan direduksi sehingga didapatkan suatu subgraf yang berisikan pemetaan berarah dari suatu pasangan ke pasangan lainnya. Pada subgraf yang terbuat, dipastikan bahwa setiap pasangan hanya akan melakukan pertukaran sebanyak satu kali dan setiap pasangan yang mendapatkan kecocokan selain akan mendapatkan ginjal dari pasangan lain, juga akan mendonorkan ginjal pendonor ke pasangan lain. Algoritma-algoritma pencarian yang dapat diimplementasikan pada program *Kidney Paired Donation* adalah sebagai berikut:

II.3.3.1 Edmond's Algorithm

Algoritma ini merupakan algoritma pencarian untuk kecocokan dua arah (*two-way exchange*). Algoritma ini dijalankan menggunakan sistem prioritas dan algoritma akan menghilangkan semua kemungkinan kecocokan dengan prioritas rendah agar kecocokan dengan prioritas tinggi difokuskan terlebih dahulu (Raja, S, & K, 2011). Berikut adalah *flowchart* untuk *Edmond's Algorithm*:

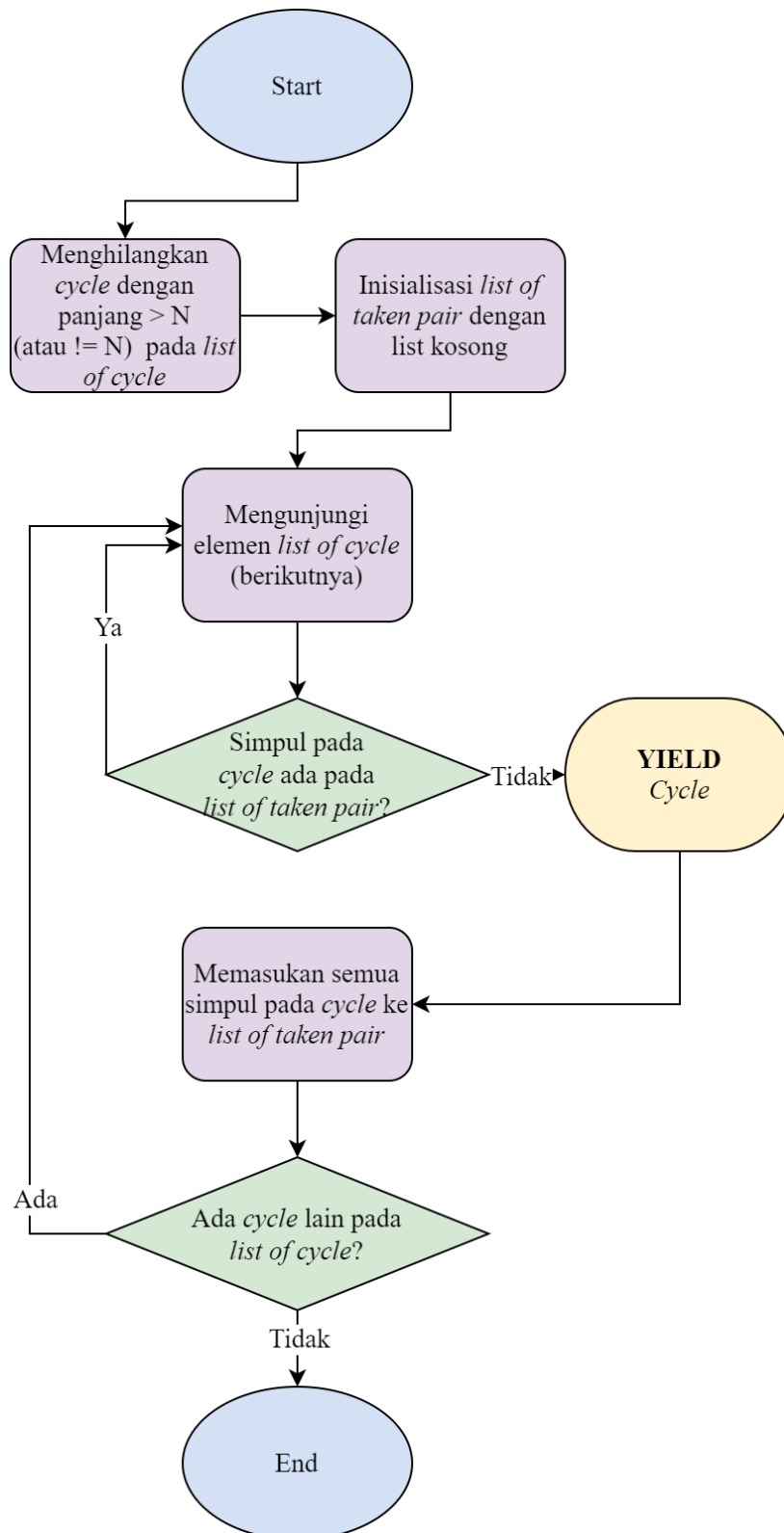


Gambar II.6 Flowchart Edmond's Algorithm

Pada pengerjaan tugas besar kali ini, algoritma *Edmond's* akan digunakan sebagai suatu *baseline* untuk algoritma-algoritma pencarian pemetaan kecocokan yang bersifat n arah. Sebagai algoritma *baseline*, kinerja dari algoritma ini akan dibandingkan bersama dengan kinerja algoritma-algoritma lain yang mampu mencari pemetaan kecocokan yang bersifat n arah.

II.3.3.2 Greedy First-Accept Searching

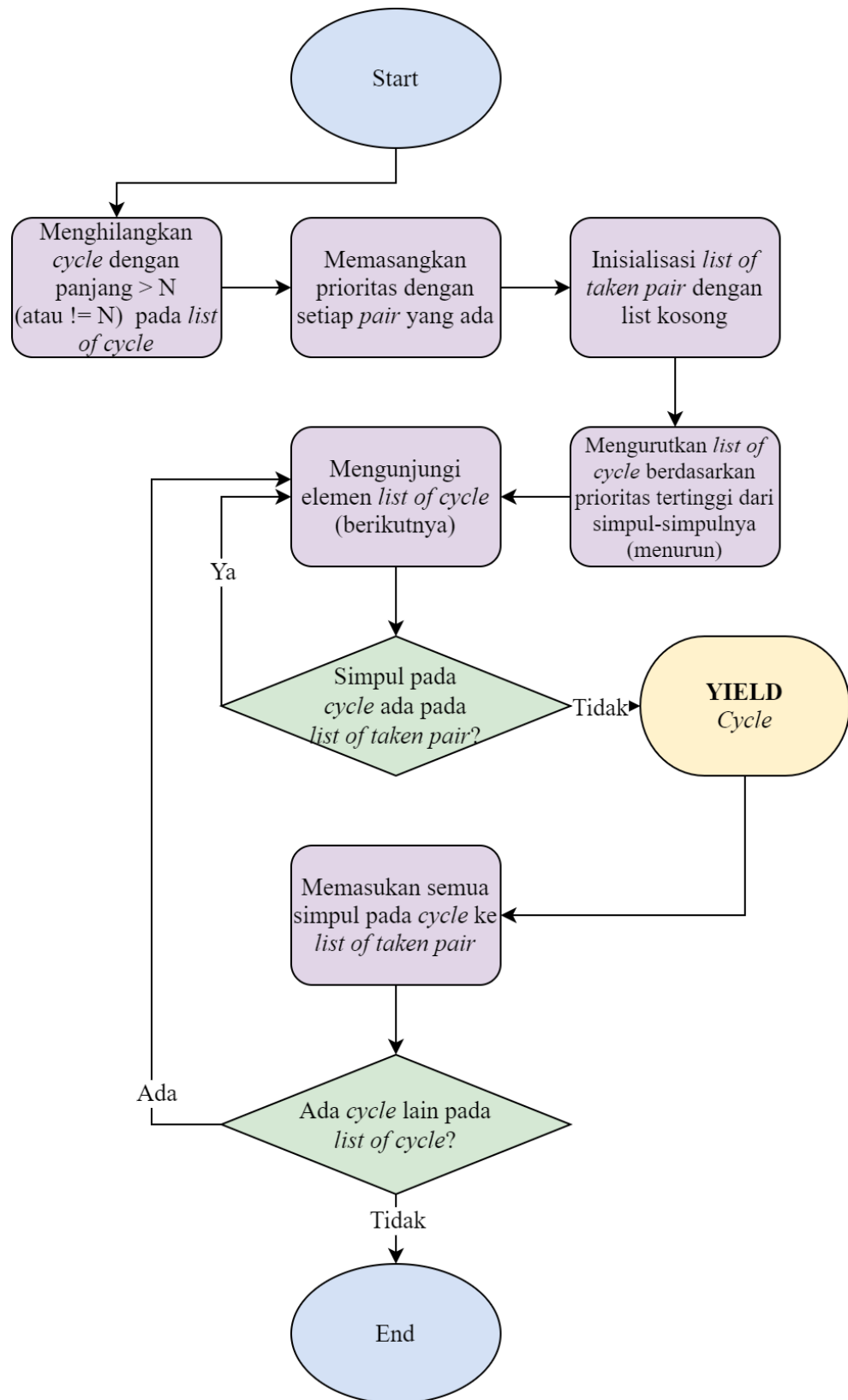
Algoritma ini bersifat *greedy*, yang berarti algoritma akan selalu mengincar *local optimum* pada setiap iterasi hingga akhir tanpa dapat melakukan *backtracking* dan mengubah keputusannya. Karena algoritma ini mencari kecocokan secara *first-accept*, algoritma akan mencari pasangan yang pertama cocok dengan pasangan lain di basis data saat dilakukan pengecekan satu per satu karena dianggap sebagai keputusan pengambilan *local optimum* dari pilihan-pilihan yang ada. Berikut adalah *flowchart* untuk algoritma *Greedy First-Accept Searching*:



Gambar II.7 Flowchart Algoritma Greedy First-Accept Searching

II.3.3.3 *Priority-based Searching*

Tidak seperti algoritma *greedy* yang dinyatakan sebelumnya, algoritma ini akan mencari kecocokan dari setiap simpul graf dengan skala prioritas. Simpul-simpul yang memiliki prioritas lebih tinggi akan dicarikan kecocokannya terlebih dahulu dibandingkan algoritma dengan prioritas yang lebih rendah. Pada kasus program pertukaran ginjal, semakin rendah kemungkinan suatu pasangan mendapatkan kecocokan dengan pasangan lain, maka semakin tinggi prioritas yang didapatkan dari pasangan tersebut. Pada implementasinya, suatu simpul yang memiliki jumlah sisi tersedikit akan memiliki prioritas yang lebih besar dalam pencarian kecocokan. Berikut adalah *flowchart* dari algoritma *priority-based searching*:



Gambar II.8 Flowchart Algoritma Priority-based Searching

II.3.4 Metrik Kinerja

Metrik adalah suatu standar pengukuran dari kinerja suatu algoritma atau model. Metrik bersifat terukur dan digunakan untuk melihat dan menilai peningkatan kinerja dari suatu algoritma. Metrik yang digunakan pada tugas akhir kali ini adalah sebagai berikut:

II.3.4.1 Matching Efficiency

Matching Efficiency atau disebut juga efisiensi pencocokan merupakan metrik yang digunakan untuk menilai kinerja dari setiap algoritma pencarian yang dipakai. Efisiensi pencocokan pada program pertukaran ginjal adalah persentase jumlah pasangan donor-pasien yang mendapatkan kecocokan dengan pasangan lain dan dapat melakukan pertukaran dibagi dengan jumlah total pasangan donor-pasien. Sebagai suatu contoh, jika ada 51 pasangan yang mendapatkan pertukaran dari 100 pasangan, maka efisiensi pencocokannya adalah 51%.

BAB III

ALGORITMA PENCARIAN n ARAH UNTUK PEMETAAN PERTUKARAN PADA PROGRAM PERTUKARAN GINJAL

III.1 Analisis Masalah

Seperti yang telah dijelaskan pada rumusan masalah, algoritma-algoritma yang sudah ada terkait pencarian solusi pertukaran hanya terbatas untuk pertukaran dua arah. Masalah ini terjadi karena penggunaan data yang dibuat sebagai graf tidak berarah. Sisi antar simpul yang menyatakan hubungan antar pasangan mengartikan pertukaran bolak balik secara dua arah dapat dilakukan. Hal ini menjadi batasan karena dengan tidak adanya hubungan 1 arah antar pasangan, siklus-siklus yang terbuat dari graf akan jadi lebih sedikit dan menutupi kemungkinan terbentuknya siklus perputaran 1 arah yang merupakan keuntungan dari algoritma yang mencari pertukaran n arah, dimana pertukaran dapat melibatkan lebih banyak pasangan dan lebih banyak pasien dapat memperoleh donor ginjal.

Masalah berikutnya adalah tidak adanya analisis mengenai optimasi kinerja yang dapat menghasilkan algoritma terbaik untuk digunakan berdasarkan metrik-metrik yang dipakai. Masalah ini terjadi karena terbatasnya algoritma-algoritma yang ada yang dibuat untuk menyelesaikan permasalahan ini. Ketidakadaan algoritma menyulitkan berbagai pihak untuk melakukan *benchmarking* dan melakukan analisis kinerja.

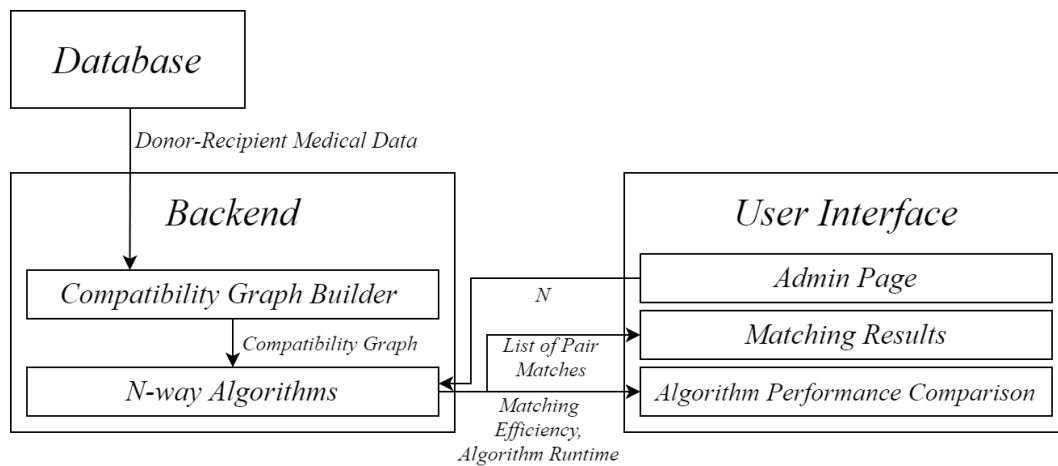
III.2 Analisis Solusi

Untuk mengatasi masalah yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, graf yang terbuat merupakan graf berarah yang menyatakan arah kemungkinan suatu donor dari suatu pasangan dapat mendonorkan ginjalnya kepada pasien dari pasangan lain. Hal ini akan meningkatkan jumlah sisi yang ada pada graf dan niscaya mempermudah pencarian untuk pemetaan kecocokan bersifat n arah. Dengan graf tersebut, dapat dibuat algoritma-algoritma pencarian yang mampu melakukan pertukaran n arah. Terdapat dua buah kasus untuk nilai n yang ada.

Kasus pertama adalah kasus dimana nilai n digunakan sebagai nilai maksimum pertukaran yang terjadi. Kasus kedua adalah kasus dimana nilai n digunakan sebagai angka eksak jumlah pertukaran yang terjadi. Pada kasus pertama, jumlah kecocokan yang didapatkan oleh sistem dapat berupa pertukaran sebanyak dua arah hingga sebanyak n arah. Sementara pada kasus kedua, jumlah kecocokan yang didapatkan oleh sistem sudah pasti berupa pertukaran sebanyak n arah.

III.3 Deskripsi Rancangan Solusi

Solusi yang dibuat adalah suatu sistem dengan algoritma-algoritma yang menggunakan kedua kasus yang telah dijelaskan pada poin sebelumnya. Berikut adalah diagram blok untuk sistem yang akan dibuat:



Gambar III.1 Diagram Blok Sistem Pencocokan Program Pertukaran Ginjal

Penjelasan detail dari diagram blok di atas adalah sebagai berikut:

III.3.1 Donor-Recipient Medical Data

Basis data digunakan untuk menyimpan data medis donor dan pasien calon penerima transplantasi ginjal. Data medis donor dan pasien berisikan nomor dari pasangan, golongan darah pendonor ginjal, golongan darah pasien calon penerima donor ginjal, dan juga PRA dari pasien calon penerima transplantasi ginjal.

III.3.2 Algoritma-algoritma pada *Backend*

Backend dari sistem terdiri dari dua hal, *Compatibility Graph Builder* dan juga algoritma-algoritma pencocokan yang masing-masing akan dijelaskan sebagai berikut:

III.3.2.1 *Compatibility Graph Builder*

Komponen ini bertanggung jawab untuk membuat suatu graf kompatibilitas yang berupa suatu graf berarah dengan simpul yang merupakan pasangan tidak cocok dan sisi yang merupakan arah donasi dari suatu pasangan ke pasangan lainnya. Setiap pasangan pada graf terhubung dengan setiap pasangan lain yang cocok untuk menerima atau memberikan donor ginjal. Relasi setiap simpul bersifat *many-to-many*. Setelah graf terbuat, algoritma akan mencari semua siklus yang ada pada graf yang bersangkutan.

III.3.2.2 *Algoritma-algoritma Pencarian Kecocokan N Arah*

Algoritma-algoritma ini digunakan untuk memproses graf kompatibilitas dan juga daftar siklusnya dengan n yang menjadi masukan. Seperti yang telah dijelaskan, algoritma dapat menggunakan n sebagai nilai maksimum arah pertukaran atau sebagai nilai eksak arah pertukaran. Jumlah arah pertukaran adalah jumlah sisi dalam suatu siklus. Target dari algoritma-algoritma ini adalah untuk mencari subgraf berisi kumpulan siklus yang melibatkan paling banyak simpul. Setiap simpul hanya boleh berada dalam satu buah siklus, yang berarti setiap pasangan hanya akan menerima dan memberikan tepat satu buah ginjal.

III.3.3 *User Interface*

Antarmuka pengguna akan menampilkan hasil algoritma, kinerja algoritma dan juga halaman untuk administrator. Hasil pertama yang ditampilkan berupa kumpulan kecocokan yang didapatkan setiap pasangan. Bentuk dari hasil adalah suatu pemetaan mengenai pasien tujuan dari setiap pendonor. Pada hasil yang didapatkan, terdapat kemungkinan adanya pasangan yang tidak mendapatkan kecocokan sama sekali. Hasil kedua adalah perbandingan dari kinerja setiap algoritma yang dijalankan. Kinerja dari algoritma berupa 2 hal, yaitu *matching efficiency* dan juga waktu berjalannya setiap algoritma.

Selain menampilkan hasil, akan terdapat juga antarmuka untuk halaman *administrator* yang dapat dipakai untuk melakukan input jumlah n .

DAFTAR PUSTAKA

- Wiradarma, K. (2016, February 3). *Transplantasi Ginjal di Indonesia: Pencapaian dan Hambatannya*. Retrieved from klikdokter.com: <https://www.klikdokter.com/info-sehat/read/2697086/transplantasi-ginjal-di-indonesia-pencapaian-dan-hambatannya#:~:text=Sebenarnya%2C%20jumlah%20pasien%20yang%20memerlukan,orang%20yang%20memerlukan%20transplantasi%20ginjal>.
- Nguyen, H. D., Williams, R. L., Wong, Germaine, & Lim, W. H. (2013, February 13). *The Evolution of HLA-Matching in Kidney Transplantation*. Retrieved from In Tech Open: <https://www.intechopen.com/books/current-issues-and-future-direction-in-kidney-transplantation/the-evolution-of-hla-matching-in-kidney-transplantation#B36>
- Raja, S., S, P. D., & K, S. R. (2011, July 8). *International Journal of Computer Applications*. Retrieved from Research Gate: <https://www.ijcaonline.org/volume25/number8/pxc3874154.pdf>