

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Cryosurgery adalah cara untuk mengikis suatu jaringan menggunakan suhu ekstrim yang sangat rendah [1] menggunakan Nitrogen cair yang disuntikkan pada daerah target menggunakan suatu alat suntik bernama *cryoprobe*. Teknik *cryosurgery* biasa digunakan untuk menghancurkan sel tumor yang ada di dalam atau di luar tubuh. *Cryosurgery* dianggap lebih efektif dalam pengobatan tumor karena biaya yang relatif lebih murah dan dengan durasi perawatan yang lebih singkat.

Pengembangan alat *cryosurgery* sampai saat ini dapat menggunakan 4 sampai 14 *cryoprobe* dengan menggunakan gas bertekanan tinggi yang dilepaskan dalam waktu yang singkat yang dinamakan dengan *Joule-Thompson Effect* [1]. Penggunaan lebih dari satu *cryoprobe* bertujuan untuk menambah kontrol saat proses pembekuan. Saat ini pemilihan dan penempatan *cryoprobe* hanya berdasarkan intuisi dan pengalaman dari operator *cryosurgery* dan sering dioperasikan dengan metode *trial and error* hingga seluruh daerah jaringan target dianggap sudah terbekukan. Hal ini bisa menyebabkan kerusakan jaringan sehat di sekitar daerah jaringan target atau bahkan operasi yang gagal.

Kurangnya perencanaan dalam penggunaan jumlah dan ukuran dari *cryoprobe* serta cara penempatannya menimbulkan durasi operasi yang semakin lama, komplikasi paska operasi, dan kerugian lainnya yang bisa menggagalkan proses *cryosurgery*. Perencanaan cara penempatan *cryoprobe* yang optimal dan penentuan jumlah serta ukuran yang tepat untuk *cryoprobe* dapat mengoptimalkan durasi dan kerusakan pada daerah jaringan target serta meminimalisasi kerusakan pada jaringan sehat di sekitar jaringan target).

Perencanaan penempatan *cryosurgery* yang optimal membutuhkan perhitungan dari penyebaran suhu pada daerah jaringan target. Simulasi tersebut membutuhkan biaya komputasi yang tinggi, sehingga dibutuhkan metode optimasi penempatan *cryoprobe* yang efisien. Dengan menggunakan analogi medan gaya, optimasi penempatan *cryoprobe* dapat dicapai dengan satu simulasi untuk setiap iterasi optimasi [1]. Analogi medan gaya mengoptimasi posisi *cryoprobe* berdasarkan daerah dengan suhu yang tidak sesuai lalu memindahkan *cryoprobe* ke arah yang lebih baik. Daerah target yang tidak rusak disebut *internal defect* dan daerah jaringan di sekitar target yang mengalami kerusakan disebut *external defect*. Jumlah dari kedua *defect* tersebut dapat dipakai sebagai parameter dari keberhasilan suatu proses *cryosurgery*. Proses *cryosurgery* dianggap berhasil jika memiliki kerusakan daerah target yang maksimal dengan kerusakan jaringan di sekitar target yang minimal, sehingga permasalahan ini merupakan masalah minimasi *total defect*.

Simulasi *cryosurgery* yang diterapkan menggunakan metode numerik konservatif seperti metode volume hingga (selanjutnya disebut dengan *FVM*) dengan persamaan *Bioheat Pennes*. *FVM* cocok digunakan pada permasalahan yang menggunakan persamaan konservasi.

Konsep untuk mengoptimasi cara penempatan *cryoprobe* menggunakan analogi medan gaya diusulkan oleh *Lung, et. al.*, [1] dalam penelitiannya yang bertujuan untuk mencari cara penempatan *cryoprobe* yang memenuhi kondisi

pembekuan pada daerah target mencapai maksimum pada kasus tumor prostat. Hasil yang didapatkan pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa algoritma yang dipakai lebih efisien daripada algoritma optimasi konvensional lainnya. Rossi, et. al., [2, 3] juga meneliti bagaimana cara menempatkan *cryoprobe* secara optimal pada tumor prostat menggunakan metode *bubble packing* dan analogi medan gaya. Hasil yang didapatkan pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa batas dari daerah pembekuan yang didapatkan dari hasil simulasi numerik berbeda sebesar 0.8 mm dari data experiment. Teknik-teknik optimasi lainnya dalam perencanaan *multiprobe cryosurgery* dapat dilihat di [4 - 9].

Hasil yang diinginkan dari Tugas Akhir ini adalah konfigurasi berupa jumlah dan penempatan *cryoprobe* yang optimal untuk *cryosurgery* pada tumor paru-paru, distribusi suhu pada simulasi yang diterapkan, dan data *defect* serta waktu di setiap iterasi simulasi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, rumusan masalah yang dibahas pada tulisan ini adalah:

1. Bagaimana menentukan solusi eksak dan numerik *Stefan Problem* satu dimensi?
2. Bagaimana menentukan solusi numerik *Stefan Problem* menggunakan *FVM* dua dimensi pada simulasi *cryosurgery*?
3. Bagaimana cara mencari konfigurasi *cryoprobe* yang optimal untuk suatu daerah target berbentuk sederhana menggunakan analogi medan gaya?
4. Bagaimana cara mencari konfigurasi *cryoprobe* yang optimal untuk suatu daerah target berbentuk kompleks menggunakan analogi medan gaya?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, tujuan yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Menentukan solusi eksak dan numerik *Stefan Problem* satu dimensi.
2. Menentukan solusi numerik *Stefan Problem* menggunakan *FVM* dua dimensi pada simulasi *cryosurgery*.
3. Mencari konfigurasi *cryoprobe* yang optimal untuk suatu daerah target berbentuk sederhana menggunakan analogi medan gaya.
4. Mencari konfigurasi *cryoprobe* yang optimal untuk suatu daerah target berbentuk kompleks menggunakan analogi medan gaya.

1.4. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah:

a. Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis melakukan pencarian materi-materi dan fakta guna mendukung penelitian. Hal-hal yang dilakukan penulis adalah mengumpulkan dan membaca buku, *paper*, jurnal dan referensi lainnya mengenai permasalahan dan teknik dalam *cryosurgery*, *FVM*, komputasi geometri, dan medan gaya.

- b. Analisis Perancangan Sistem
Pada tahap ini, penulis membuat rancangan sistem terhadap permasalahan simulasi *cryosurgery* menggunakan *FVM* dan optimasi penempatan *cryoprobe*.
- c. Pengumpulan Data
Pada tahap ini, penulis mengumpulkan data yang dibutuhkan dalam simulasi *cryosurgery* antara lain, konduktifitas panas (*thermal conductivity*) jaringan paru-paru dan tumor dalam keadaan beku dan tidak beku, bentuk tumor pada paru-paru, suhu minimal untuk proses pembekuan, suhu darah normal, dan koefisien kalor laten (*latent heat*).
- d. Implementasi dan Pembangunan Sistem
Pada tahap ini, penulis akan mengimplementasikan rancangan yang telah dibuat ke dalam program dalam bahasa C dan alat pendukung lainnya.
- e. Pengujian dan Analisis
Pada tahap ini, penulis membandingkan dan menganalisis hasil yang didapat dari solusi eksak dan numerik.
- f. Pembuatan Laporan Tugas Akhir
Pada tahap ini, penulis menyusun laporan dari hasil simulasi yang didapat beserta penjelasan dalam bentuk laporan tugas akhir.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini disusun sesuai dengan rencana berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan mengenai optimasi penempatan *cryoprobe* pada simulasi *cryosurgery* menggunakan *FVM*.

BAB 2 DASAR TEORI

Bab ini menguraikan dasar-dasar teori mengenai *Stefan Problem* sistem satu dimensi dan dua dimensi, komputasi geometri, dan analogi medan gaya pada optimasi penempatan *cryoprobe*.

BAB 3 ANALISIS PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini menjelaskan proses analisis perancangan model dan implementasi simulasi yang dibangun secara terperinci.

BAB 4 ANALISIS HASIL SIMULASI

Bab ini menjelaskan hasil dari perancangan pada bab sebelumnya dan analisis dari hasil simulasi yang didapatkan dan menentukan efisiensi yang didapatkan.

BAB 5 PENUTUP

Bab penutup berisi kesimpulan dari hasil dan analisis dari simulasi dan memberikan kelebihan dan kekurangan dari simulasi yang diterapkan.