

## 1. Pendahuluan

Tumor adalah gangguan patalogis pertumbuhan pada sel, yang ditandai dengan pertumbuhan sel berlebihan dan tidak normal yang membentuk benjolan. Massa jaringan abnormal yang mungkin padat atau bahkan berisi cairan. Tumor ganas atau biasa disebut kanker artinya tumor tersebut dapat menyerang jaringan terdekat di dalam tubuh manusia, umumnya tumor ganas tumbuh lebih cepat dari tumor jinak dan terjadi dimana saja di tubuh termasuk payudara, paru-paru, usus, organ reproduksi, darah, atau kulit[9].

Pertumbuhan tumor tersebut dapat diketahui, dikaji dan dimodelkan secara matematis menggunakan persamaan diferensial. Model pertumbuhan tumor merupakan topik yang membahas dinamika kompleks dari perkembangan sel yang bersifat kanker dengan menggunakan pendekatan matematis. Pada sistem dimanis tumor bagian internal, terjadi interaksi antar-sel dan interaksi dengan jaringan sekitar, yaitu terjadi perpindahan substansi kimia yang dapat direpresentasikan secara matematis yang berasal dari observasi biologis dan klinis berasal dari berbagai sumber.

Secara umum pendekatan pemodelan pertumbuhan sel tumor dapat dipandang secara makroskopis dan *mikroskopis*. Model matematika dalam menyimulasikan pergerakan tumor sangat berperan penting dalam mempelajari karakteristik tumor terhadap pengaruh berbagai tindakan, seperti pemberian zat kimia, terapi radiologi, dan tindakan lainnya. Bahkan, beberapa studi mendalam terkait tumor, mencoba melihat pengaruh keberadaan sel yang bersifat tumor atau kanker ini, terhadap sistem kekebalan tubuh. Model sel tumor makroskopis adalah tumor yang berukuran kecil sampai besar, mempunyai konsistensi lembek berwarna kuning dan mudah untuk digerakkan[8], sedangkan model mikroskopis memandang penting pertumbuhan tumor dari segi volume atau kuantitas sel tumor, seperti model pertumbuhan melalui persamaan Lotka-Volterra. Persamaan Lotka-Volterra diperkenalkan pertama kali oleh Lotka dan Volterra pada tahun 1920, seiring berkembangnya jaman model persamaan Lotka-Volterra dikembangkan untuk menganalisis pergerakan tumor dengan pernyataan populasi mangsa dan pemangsa[4].

Proses pengobatan tanpa operasi membutuhkan waktu lama dan bersifat subjektif[6]. Selain itu, pergerakan sel tumor bermacam-macam sehingga untuk mempermudah mengetahui pergerakan tumor tersebut perlu dilakukan penyelidikan secara rinci dan numerik. Asumsi simetri bola dan pertumbuhan dua dimensi digunakan untuk menghasilkan grafik pergerakan tumor. Simulasi pergerakan tumor bertujuan mengetahui pergerakan bagi daerah citra tumor dan daerah normal[3], proses tersebut menggunakan sebuah visualisasi. Pada penelitian Gopal dan Karnan, 2010 ini menggunakan kombinasi atau metode pendukung untuk mencari nilai optimum, hasil simulasi dan deteksi lebih akurat[2].

## **Latar Belakang**

Secara umum perkembangan tumor dapat dilihat melalui pemeriksaan dibawah mikroskop[5]. Perkembangan tumor memiliki tingkatan dimana tingkat yang paling rendah menunjukkan bahwa sel tumor yang pertumbuhannya lebih lambat dan tingkat yang lebih tinggi menunjukkan bahwa semakin cepat sel tumor akan tumbuh. Tumor ganas memiliki tingkat perkembangan tinggi dan dapat menyebar kebagian tubuh lainnya sehingga dapat merusak sel-sel sehat di sekitarnya. Dengan perkembangan sangat cepat dan merusak tersebut keberadaan kanker perlu dideteksi sejak dini agar dapat segera dilakukan pengobatan untuk mencegah pertumbuhan dan perkembangan tumor. Metode tersebut dipilih berdasar penelitian sebelumnya yang menunjukkan hasil terbaik dalam melakukan simulasi tumor.

Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sistem simulasi pergerakan tumor ganas yang dapat membantu dalam pemantauan perkembangan tumor ganas dengan menggunakan pemodelan sistem matematis *Makroskopis*.

Model matematika untuk pertumbuhan tumor bermanfaat dalam engineering untuk membangun sistem simulator yang dapat membantu tenaga medis untuk menyimulasikan efek pergerakan jaringan bertumor terhadap treatment atau tindakan tertentu. Efek dari tindakan yang menarik untuk diamati bagi peneliti-peneliti di bidang ini antara lain, pengaruh tindakan pengobatan kimia, radio terapi, vaksin tertentu, bahkan efek pertumbuhan terhadap kekebalan tubuh.

Model matematika yang melihat pergerakan tumor secara makroskopis, biasanya terdiri dari sistem persamaan yang mengatur perubahan yang terjadi yang diakibatkan oleh interaksi sel-sel dalam jaringan tumor.

Dalam penelitian ini, model tipe Hele-shaw untuk domain dua dimensi akan digunakan untuk model pergerakan tumor [antoine mellet]. Dalam model matematika tersebut dapat digambarkan perambatan sel tumor dari nilai densitas dan tekanan untuk setiap satuan waktu. Sel tumor berada pada jaringan yang bersifat tidak homogen, artinya densitasnya tidak sama untuk segala arah perambatannya. Untuk itu akan dipelajari pergerakan free boundary dari jaringan tumor terhadap interaksinya dengan sel-sel sekitar dimana kandungan nutrisi tidak homogen.

## **Topik dan Batasannya**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, topik serta batasan yang diangkat dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Model matematika yang diimplementasikan merupakan model perambatan jaringan tumor dengan pende-

katan makroskopis, dimana jaringan tumor dipandang sebagai suatu domain di  $\mathbb{R}^2$ . Perambatan jaringan tumor dilihat dari nilai densitas dan tekanannya.

### **Tujuan**

Tujuan dari permasalahan yang ingin dicapai dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Mempelajari model matematika untuk karakteristik jaringan tumor secara makroskopis melalui pendekatan dinamika fluida, yang secara spesifik dalam hal ini digunakan model tipe Hele-shaw.
2. Mengimplementasikan metode numerik untuk mendapatkan solusi hampiran dari model matematis yang digunakan.
3. Menganalisa hasil pendekatan numerik dan hasil simulasi, terutama terkait dengan permasalahan free boundary dari jaringan tumor.

### **Organisasi Tulisan**

Pada sub-bagian ini dituliskan bagian-bagian selanjutnya (setelah Pendahuluan) pada jurnal TA ini, disertai penjelasan sangat singkat.