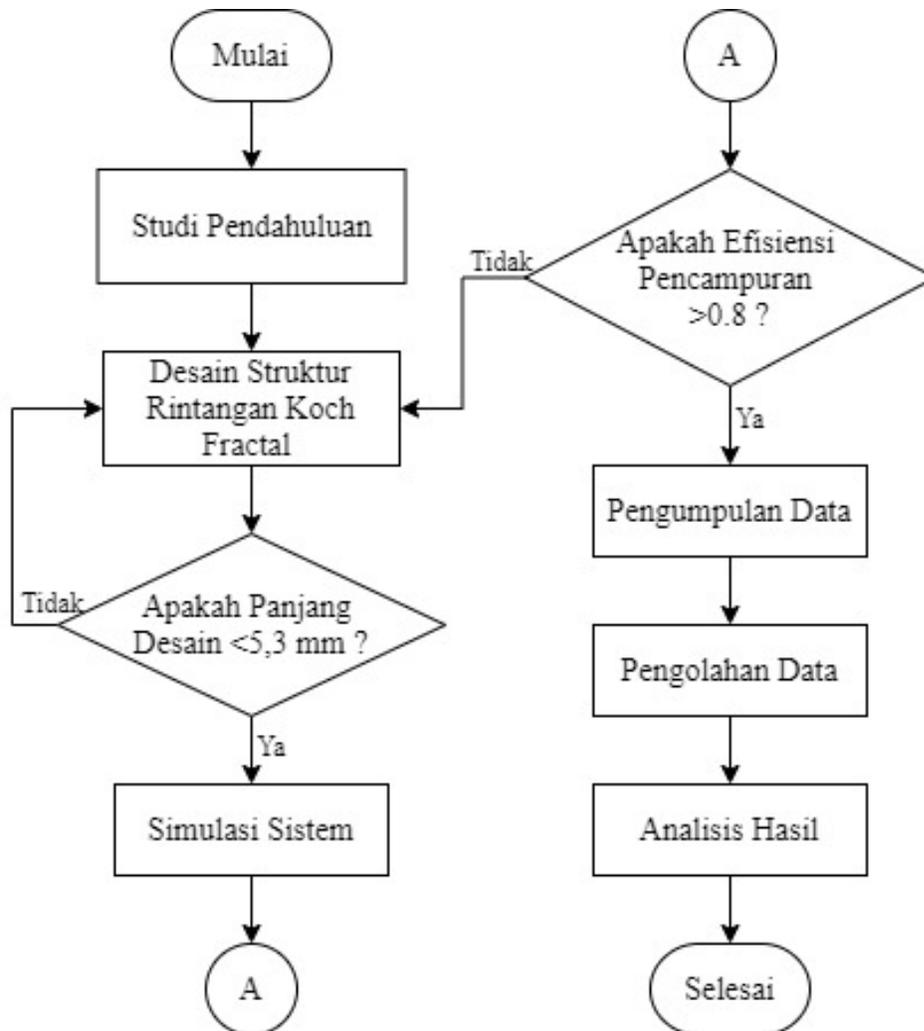


## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian

Penelitian dalam bidang miniaturisasi dapat direalisasikan pada sistem LoC sebagai salah satu dari aplikasi analisis kimia. Pembuatan simulasi merupakan salah satu bentuk khusus sebagai alternatif pemecahan masalah yang ada sebelum diimplementasikan secara langsung. Untuk memudahkan proses penelitian, dilakukan pembuatan diagram alir alur penelitian yang ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tahapan simulasi desain mixromixer fluida pada struktur rintangan Koch *fractal*

### 1. Studi Pendahuluan

Tahap studi pendahuluan merupakan tahapan awal yang bertujuan untuk mencari dan mengumpulkan berbagai informasi yang diperlukan dalam pelaksanaan penelitian. Penelitian ini dilaksanakan atas dasar kebutuhan simulasi untuk mengoptimalkan kinerja desain dan meningkatkan efisiensi pencampuran cairan. Berdasarkan hal itu dibutuhkan Informasi-informasi yang dijadikan pengetahuan dasar untuk memperkuat konsep pembuatan simulasi. Sumber informasi diperoleh melalui media internet seperti jurnal maupun karya tulis ilmiah lainnya, atau melalui media cetak seperti buku.

### 2. Desain Struktur Rintangan Koch *Fractal*

Desain struktur rintangan Koch *fractal* dibuat dengan menggunakan bantuan aplikasi *SOLIDWORK 2019*. Pada tahap ini penulis membuat desain perencanaan sebagai upaya dalam mengoptimalkan kinerja desain dalam meningkatkan efisiensi pencampuran cairan. Desain struktur rintangan ini sangat berpengaruh dalam meningkatkan kontak antar fluida yang menyebabkan terjadinya pusaran. Oleh karena itu, desain yang tersusun padat dan efisien menjadi penting untuk diupayakan sehingga dapat mencapai panjang desain  $<5,3$  mm.

### 3. Simulasi Sistem

Pada tahap ini desain struktur yang telah dibuat dimulasikan pada perangkat lunak *COMSOL Multiphysics 5.6*. Sistem disimulasikan berdasarkan parameter-parameter yang telah ditentukan untuk dianalisis kinerjanya. Jika kinerja sistem sudah sesuai dengan tujuan yang telah dibuat, yaitu mencapai efisiensi pencampuran  $>0.8$  maka sistem dapat dikatakan layak digunakan untuk pengambilan data. Jika kinerja sistem belum sesuai maka perlu adanya perbaikan melalui modifikasi pada desain struktur geometrinya.

### 4. Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh dari hasil simulasi struktur rintangan Koch *fractal*. Pada pengujian efisiensi pencampuran pada cairan dilakukan pengukuran konsentrasi cairan terhadap beberapa parameter seperti pengaruh sudut rintangan, pengaruh kedalaman rintangan, pengaruh saluran T-*vortex* pada rintangan, dan pengaruh

penurunan tekanan. Selain itu, untuk menguji keefektivitasan efisiensi pencampuran, dilakukan pengambilan data terhadap factor-faktor yang dapat mempengaruhi seperti factor kecepatan, tekanan, dan pengaruh operasi bilangan Reynolds ( $Re$ ).

#### 5. Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari tahap sebelumnya disajikan dan diolah dengan menggunakan metode numerik dengan bantuan aplikasi *Microsoft Office Excel 2013*. Data tersebut merupakan data konsentrasi fluida yang akan diolah dengan bantuan *Microsoft Office Excel 2013* untuk mendapatkan nilai efisiensi pencampurannya.

#### 6. Analisis Hasil

Data efisiensi pencampuran yang telah diolah, kemudian diplot pada sebuah grafik dengan menggunakan aplikasi *OriginPro 8.5* untuk mengetahui pengaruh parameter-parameter yang telah diubah terhadap efisiensi pencampuran sehingga mendapatkan hasil optimasi dari desain yang telah dibuat. Untuk menguji keefektivitasan dari struktur yang dibuat, peneliti melakukan perbandingan hasil antara struktur yang paling optimal dengan struktur yang telah ada pada literatur. Selanjutnya penulis dapat menarik kesimpulan terkait kualitas struktur rintangan Koch *fractal* yang optimal terhadap efisiensi pencampuran.

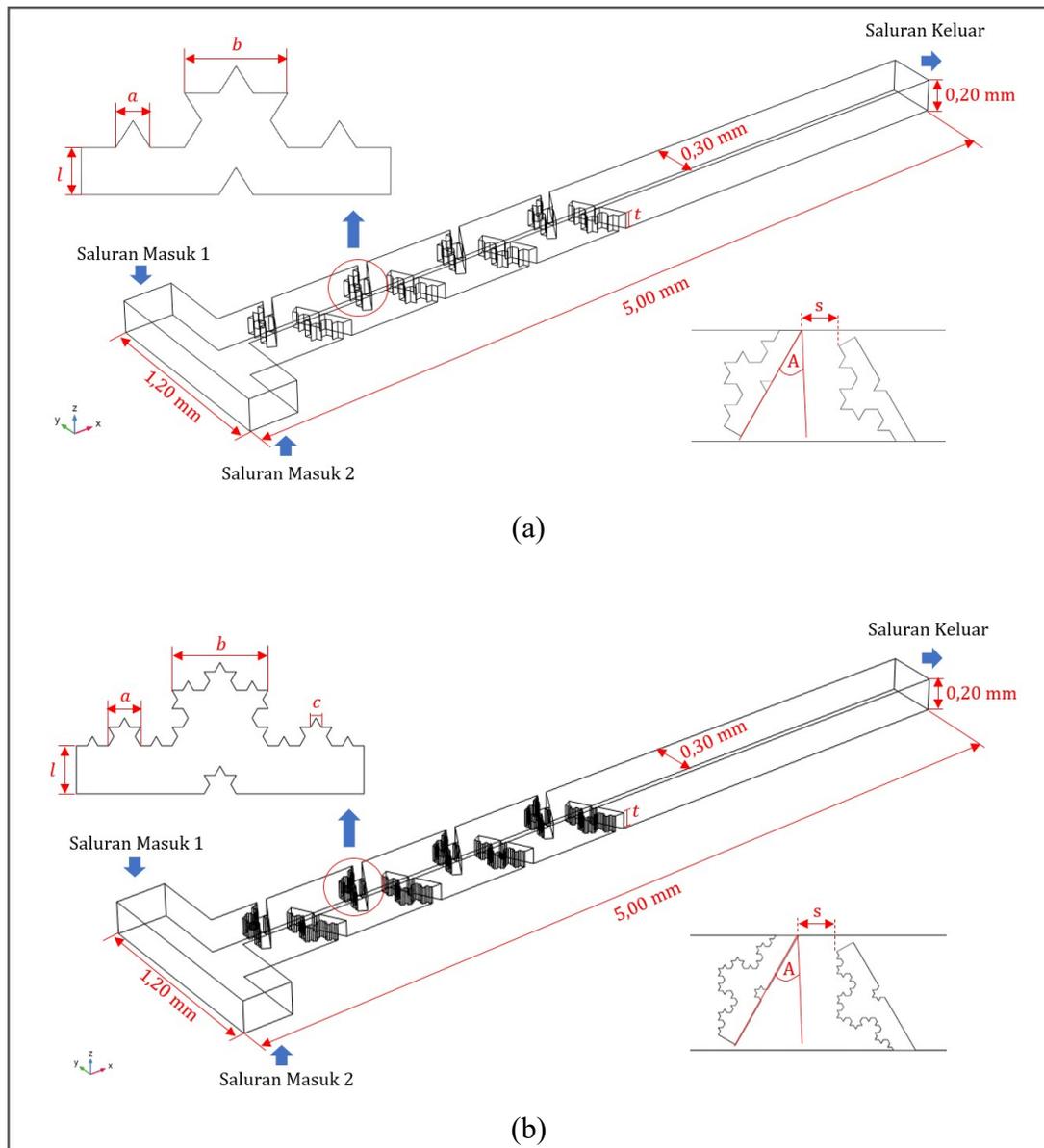
### 3.2 Desain Mikromixer Fluida Berbasis Struktur Rintangan Koch *Fractal*

Struktur rintangan Koch *fractal* didesain menggunakan aplikasi *SOLIDWORK 2019*. Mikromixer fluida terdiri dari dua jenis *microchannel*, yaitu “saluran utama” dan “struktur rintangan Koch *fractal*”. Pada saluran utama peneliti memvariasikan struktur saluran T dan struktur saluran T-*vortex*. Sedangkan pada struktur rintangan Koch *fractal*, peneliti memvariasikan struktur *Secondary Snowflakes Fractal (SSF)* dan *Tertiary Snowflakes Fractal (TSF)*. Struktur rintangan snowflakes *fractal* dibuat berdasarkan prinsip Koch *fractal*. Berikut ditunjukkan berbagai parameter desain mikromixer fluida pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Parameter studi berdasarkan struktur mikromixer yang digunakan

Parameter	Nilai
Panjang saluran utama (P)	5,00 mm
Lebar saluran utama (L)	0,30 mm
Ketebalan saluran utama (T)	0,20 mm
Panjang saluran masuk	1.20 mm
l	$0,33 \times 10^{-1}$ mm
b	$0,99 \times 10^{-1}$ mm
c	$0,11 \times 10^{-1}$ mm
s	0.10 mm
Radius struktur RSSF ( $R_1$ )	$1,60 \times 10^{-2}$ mm
Radius struktur RTSF ( $R_2$ )	$2,79 \times 10^{-3}$ mm
Sudut rintangan <i>snowflakes fractal</i> (A)	15°, 30°, 45°, 315°, 330°, & 345°
Kedalaman rintangan <i>snowflakes fractal</i> (t)	0,01-0,19 mm

Desain rintangan dibuat dibuat dengan maksud dapat memecah aliran dan berperan dalam pencampuran yang homogen. Desain ini dirancang dengan memiliki dua saluran masuk dan satu saluran keluar dengan delapan struktur rintangan yang ditempatkan pada bagian atas dinding saluran dan permukaan bawah dinding saluran. Pada kasus ini peneliti mempelajari pengaruh sudut rintangan *snowflakes fractal* (A) dan kedalaman rintangan *snowflakes fractal* (t) terhadap efisiensi pencampuran pada struktur SSF dan TSF. Berikut ditunjukkan struktur desain SSF dan TSF yang telah dibuat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 struktur geometri rintangan (a) *Secondary Snowflakes Fractal (SSF)*, dan (b) *Tertiary Snowflakes Fractal (TSF)*.

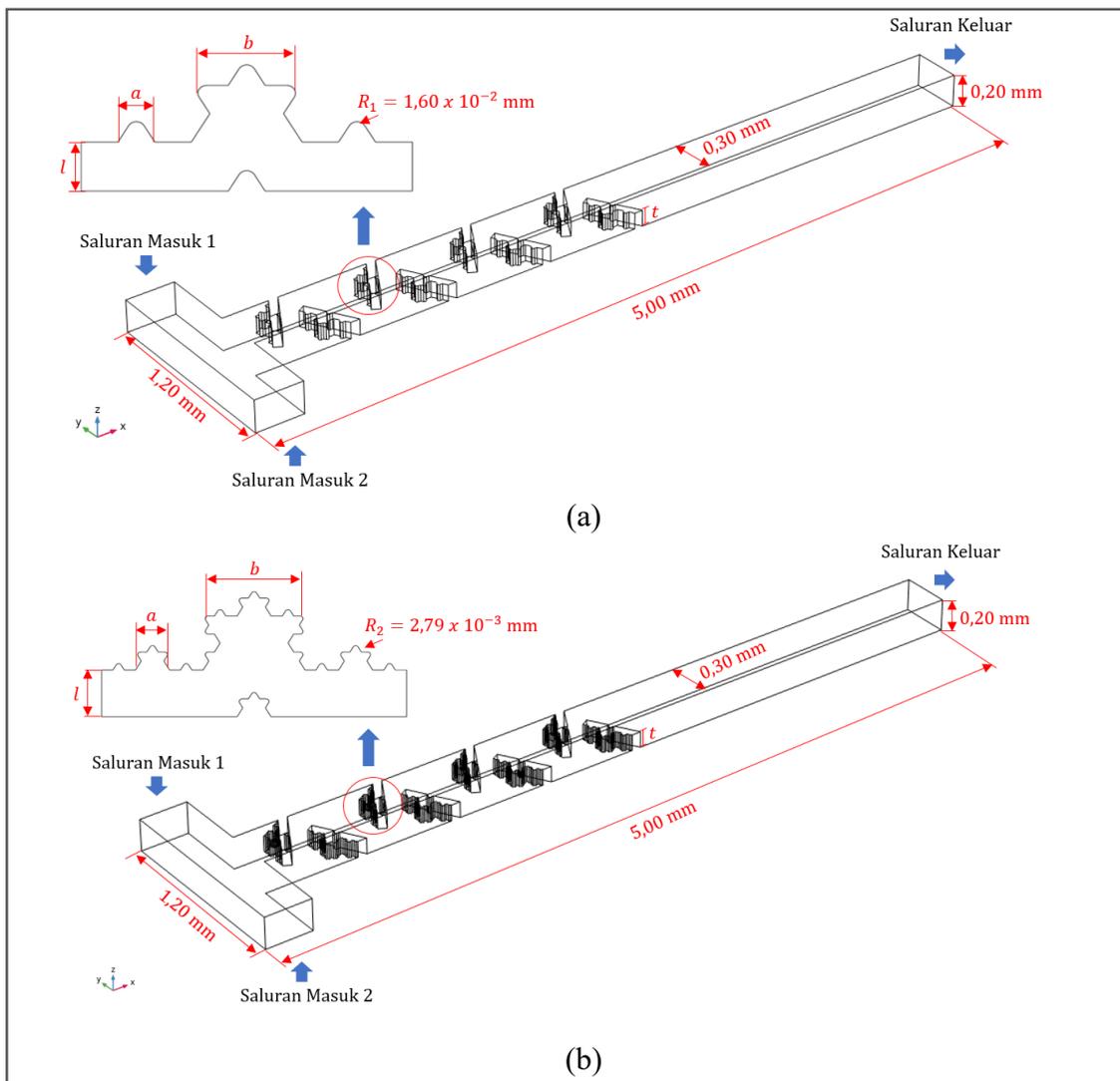
Pertama, fluida masuk ke saluran utama mikromixer melalui dua saluran masuk. Setelah fluida masuk pada saluran struktur rintangan Koch *fractal*, terjadi kontak antar fluida yang disebabkan oleh adanya rintangan saat fluida menuju saluran keluar. Selain memvariasikan struktur rintangan, peneliti mempelajari pengaruh penurunan tekanan terhadap efisiensi pencampuran. Penurunan tekanan yang rendah berperan penting

Devi Fitria Nurvadila, 2021

OPTIMASI MIKROMIXER BERBASIS RINTANGAN KOCH SNOWFLAKES FRACTAL UNTUK APLIKASI LAB ON CHIP

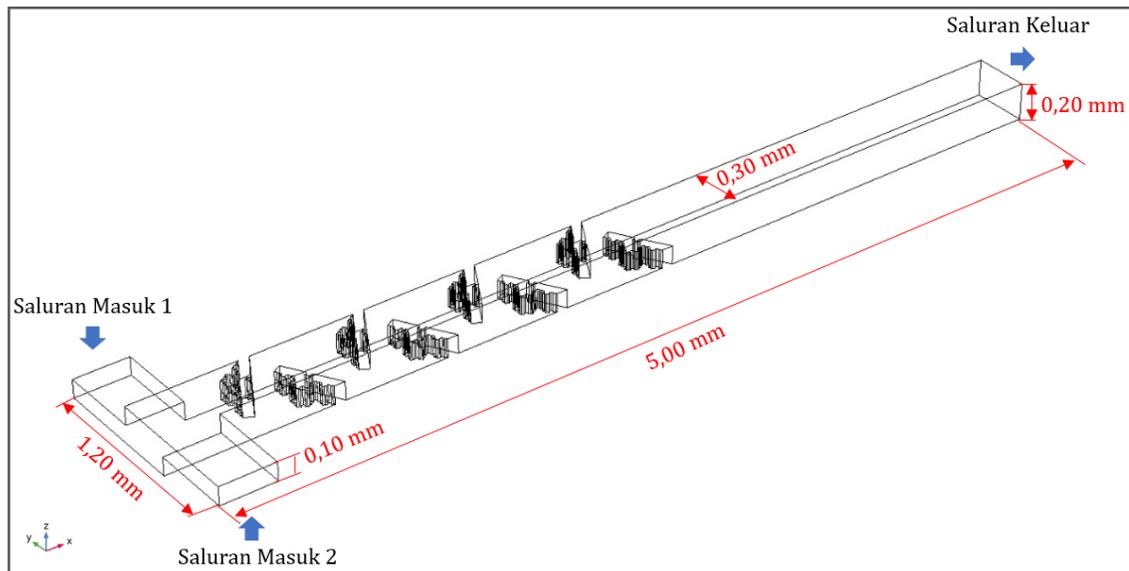
Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

pada aplikasi LoC dalam kultur sel untuk meningkatkan aktivitas sel. Dampak dari penurunan tekanan ini tidak dapat diabaikan karena penurunan tekanan yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya kavitasi dan getaran pada *microchannel*. Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan tersebut peneliti melakukan modifikasi desain dengan membulatkan struktur *fractal* pada struktur rintangan SSF dan TSF. Struktur pembulatan tersebut diberi nama *Rounding Secondary Snowflakes Fractal (RSSF)* dan *Rounding Tertiary Snowflakes Fractal (RTSF)* ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 truktur rintangan (a) *Rounding Secondary Snowflakes Fractal (RSSF)*  
(b) *Rounding Tertiary Snowflakes Fractal (RTSF)*

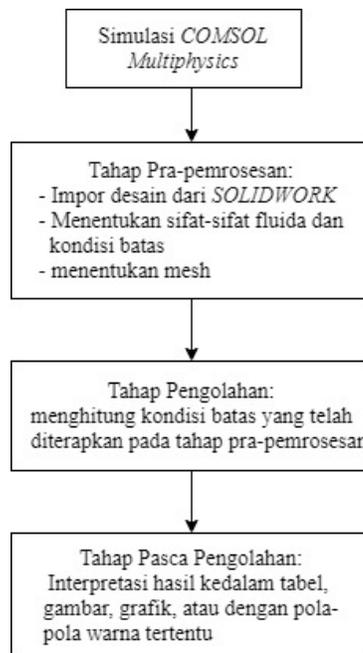
Untuk mengoptimalkan struktur geometri berdasarkan gambar 3.3, peneliti melakukan modifikasi dengan merubah ukuran saluran masuk pada struktur yang memiliki efisiensi pencampuran lebih baik. Peneliti melakukan perbandingan antara struktur saluran T dengan saluran T-*vortex*. Struktur T-*vortex* dapat membantu meningkatkan efisiensi pencampuran pada saluran masuk sehingga dapat membantu dalam mengurangi panjang *microchannel*. Berikut ditunjukkan desain dari struktur geometri T-*vortex* pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Struktur geometri dengan saluran T-*vortex*

### 3.3 Tahapan Simulasi

Tahapan simulasi ini menggunakan modul antarmuka fisika *laminar flow* (spf) dan *transport of deluted spesies (tds)* yang dikonfigurasi untuk menangani dua konsentrasi fluida yang akan dicampur. Secara umum, proses simulasi terdiri dari 3 bagian utama yang diproses dengan menggunakan aplikasi COMSOL *Multiphysics* 5.6. Tahapan berikut disajikan melalui diagram alur pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Diagram alur tahapan simulasi *COMSOL Multiphysics*

#### 1. Tahap Pra-pemrosesan

Tahap pra-pemrosesan merupakan tahap input data mulai dari impor desain dari SOLIDWORK ke COMSOL Multiphysics. Sifat-sifat fluida ditentukan dengan memilih jenis material cairan yang akan digunakan. Pada kasus ini cairan yang digunakan peneliti yaitu air, dengan sifat cairan ditunjukkan pada tabel 3.2

Tabel 3. 2  
Sifat cairan yang digunakan

Jenis cairan	Densitas ( $\text{kg m}^{-3}$ )	Viskositas ( $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ )
Air	1025	$1,5 \times 10^{-3}$

Kondisi batas yang digunakan yaitu fluida diasumsikan tidak dapat dimampatkan, Newtonian, kondisi saluran tidak licin disemua dinding, dan tekanan 0 Pa. konsentrasi masing-masing pada saluran masuk ditetapkan  $C_1 = 1 \text{ mol/L}$  dan  $C_2 = 5 \text{ mol/L}$ . Kemudian ditahap ini, struktur geometri yang akan dianalisis dibagi-bagi dengan jumlah grid tertentu atau disebut dengan *mesh*. Penentuan *mesh* ini dapat

dengan mudah diatur pada aplikasi COMSOL Multiphysics, semakin halus mesh yang ditentukan maka semakin halus materi yang dapat diloloskan.

## 2. Tahap pengolahan

Pada tahap ini dilakukan proses perhitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Tahapan ini disajikan dengan menggunakan metode numerik.

## 3. Tahap Pasca Pengolahan

Tahap ini merupakan tahap dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam tabel, gambar, grafik, bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu.

### 3.4 Metode Numerik

Analisis numerik digunakan untuk membantu tahapan simulasi pada aplikasi COMSOL Multiphysics. Menentukan diameter hidraulik ( $D_h$ ) berdasarkan nilai Re yang diinginkan. Dituliskan dalam rumusan matematis pada persamaan 3.1.

$$D_h = \frac{2(ab)}{a+b} \quad (3.1)$$

Dimana  $a$  adalah lebar geometri dan  $b$  panjang yang terdapat pada bidang geometri. Untuk menentukan kecepatan aliran ( $u$ ) dari saluran masuk 1 dan 2 dapat ditentukan dengan persamaan 3.2.

$$u = Re \mu / \rho D_h \quad (3.2)$$

Dimana Re adalah bilangan Reynolds,  $\mu$  adalah viskositas dinamis,  $\rho$  adalah densitas dan  $D_h$  adalah diameter hidrolis. Persamaan-persamaan yang digunakan yaitu persamaan Navier Stokes, persamaan kontinuitas, dan persamaan difusi-konveksi yang pada umumnya dideskripsikan dengan menggunakan persamaan 3.3-3.5.

$$\rho \left[ \frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u \right] = -\nabla p + \mu \nabla^2 u \quad (3.3)$$

$$\nabla u = 0 \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D\nabla^2 - u \cdot \nabla c \quad (3.5)$$

Dimana  $p$  adalah tekanan,  $c$  adalah konstanta konsentrasi, dan  $D$  adalah difusi masing-masing konsentrasi. Persamaan 3.6 menunjukkan derajat pencampuran menggunakan standar deviasi,  $\sigma$  konsentrasi pada penampang melintang tertentu dari mikromixer. Di sini,  $n$  adalah titik sampel di dalam penampang,  $C_i$  adalah fraksi massa pada titik sampel ke- $i$ , dan  $C_s$  adalah rata-rata dari fraksi massa. Efisiensi pencampuran,  $M$  dapat dihitung dari persamaan 3.7 di mana  $\sigma_{max}$  adalah standar deviasi di saluran masuk (Pawinanto dkk., 2020).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_i - C_s)^2} \quad (3.6)$$

$$M = 1 - \sqrt{\frac{\sigma^2}{\sigma_{max}^2}} \quad (3.7)$$

Nilai efisiensi pencampuran dievaluasi pada rentang 0 (0%) sampai 1(100%), dimana nilai 0 menunjukkan bahwa larutan belum tercampur sama sekali, sedangkan nilai 1 menunjukkan bahwa larutan tercampur sempurna secara homogen.