

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Aplikasi material berbasis logam pada dunia industri cukup potensial di Indonesia, seiring dengan terus berkembangnya industri otomotif dan kebutuhan masyarakat akan kendaraan bermotor, komponen permesinan, dan bidang lainnya. Industri material komposit berbasis logam di Indonesia pada umumnya masih menggunakan material yang di *import* , seperti logam aluminium.

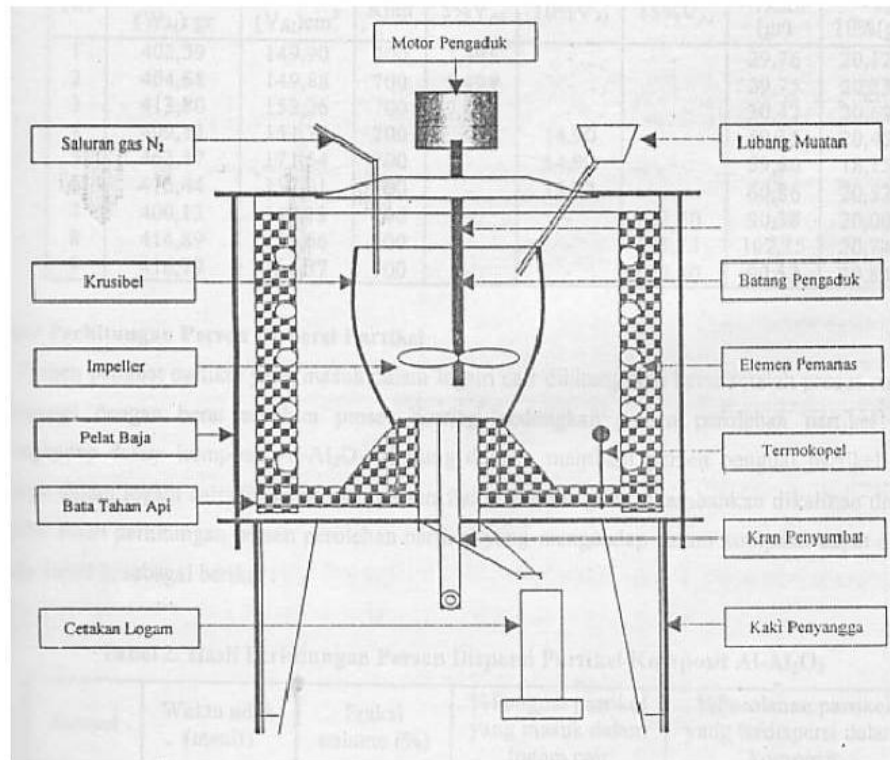
Aluminium merupakan salah satu logam yang banyak diminati dan digunakan dalam dunia perindustrian. Tidak hanya itu, dalam perkembangan dunia penelitian, logam aluminium juga sering menjadi objek banyak riset. Hal ini disebabkan karena sifat aluminium mudah di-*machining*, difabrikasi, *forming*, tahan korosi, penghantaran listrik dan panas yang sangat baik. Disamping itu juga, sifat mekanik aluminium ternyata dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur-unsur paduan, proses perlakuan panas, dan proses pengerjaan dingin [1].

Indonesia memiliki potensi mineral *bauxite* (sumber aluminium) yang cukup besar. Sedangkan keramik SiC memang tidak tersedia secara langsung di alam. Bahan SiC dapat dibuat dari proses pencampuran secara *carbothermal* antara abu sekam padi atau pasir silika sebagai sumber Si dan sumber karbon (C) dari arang batok kelapa atau arang serbuk kayu pohon jati, melalui proses *sintering* dan *milling* sehingga dapat dihasilkan *nano particle* SiC [2].

Jenis logam Al yang diimpor biasanya dalam bentuk Al *alloy* atau komposit Al. Disamping itu industri di Indonesia belum ada yang memproduksi logam Al sebagai bahan baku. Dengan demikian perlu dilakukan langkah – langkah awal dalam bentuk penelitian yang nantinya dapat dimanfaatkan bangsa Indonesia untuk mengembangkan industri komposit Al atau *Metal Matrix Composite (MMC)*.

Ada berbagai macam cara dalam peningkatan sifat mekanik aluminium, salah satu cara yang digunakan adalah dengan penambahan bahan penguat, seperti *silicon carbide* (SiC). Penambahan unsur paduan ini harus merata pada semua sisi aluminium

yang akan dibentuk. Jadi perlu dilakukan proses pengadukan pada saat aluminium tersebut bersifat cair. Proses ini biasa disebut dengan *stir casting*.



Gambar 1.1 Skema umum dapur peleburan *stir casting* [3]

*Stir casting* merupakan suatu proses penting dari produk komposit dimana material bahan penguat digabungkan dalam cairan logam dengan cara pengadukan [4]. Tujuan dari proses ini adalah agar bahan penguat tersebut tersebar secara merata di logam tersebut sehingga campuran logam cair tersebut menjadi homogen.

Komposit Al-SiC memiliki keunggulan dalam kekuatan dan ketahanan terhadap aus (*fatigue*). Selain itu, dengan penguatan bahan keramik tersebut, maka akan memberikan peningkatan resistansi suhu tinggi dan *thermal shock*. Komposit Al-SiC, juga banyak diaplikasikan sebagai material dasar komponen produk otomotif, seperti: *gear*, *piston*, *brake disc*, dan komponen lainnya yang berhubungan dengan aplikasi material gesek (*friction material*) [2].

Pemodelan menggunakan FVM (*Finite Volume Methode*) menggunakan *software* Fluent. Penggunaan Fluent bertujuan untuk mengetahui persebaran SiC dan pola gerakan aliran aluminium. Persebaran SiC yang merata mengindikasikan cairan aluminium bersifat homogen.

Penelitian tentang *stir casting* telah dilakukan sampai saat ini, baik eksperimen, analitik maupun pemodelan. Penelitian tentang simulasi *stir casting* menggunakan *software* Fluent, kelanjutan dari penelitian sebelumnya. Penelitian sebelumnya didasarkan pada tingkat kekerasan aluminium.

## 1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah mengenai analisa persebaran SiC dalam aluminium cair yang diaduk. Judul tugas sarjana ini adalah ‘Analisis Komputasi *Stir Casting* Menggunakan Perangkat Lunak Fluent’. Analisa ini meliputi simulasi pencampuran aluminium dengan *silicon carbide* menggunakan *software* FLUENT dengan variasi lama waktu pengadukan dan ukuran diameter partikel SiC.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian kali ini, penulis memberikan beberapa batasan masalah yang diharapkan dapat memberikan hasil yang maksimal, diantaranya:

- a. Pemodelan *stir casting* menggunakan *software* FLUENT.
- b. Parameter yang digunakan dalam analisa CFD adalah lama waktu pengadukan dan kecepatan putar.
- c. Pemodelan *stir casting* menggunakan model 2D (2 dimensi).
- d. SiC 10% dari volume total koil peleburan.
- e. Panas pada proses pelelehan (*melting*) aluminium diabaikan.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

- a. Memodelkan proses *stir casting* dalam *software* Fluent untuk memprediksi persebaran partikel SiC selama proses berlangsung.
- b. Memprediksi persebaran partikel SiC selama proses *stir casting* berlangsung dengan variasi kecepatan putar dan lama waktu pengadukan.
- c. Memprediksi persebaran partikel SiC selama proses *stir casting* berlangsung dengan geometri dan dimensi dapur peleburan PT Neva.

#### 1.5 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan penulis dalam penulisan Tugas Akhir adalah:

##### 1. Studi Pustaka

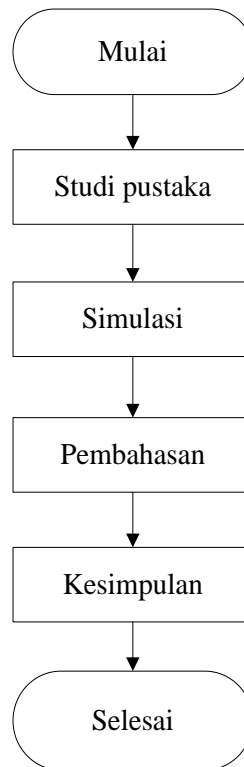
Studi pustaka adalah suatu metode yang dipergunakan dalam penelitian ilmiah yang dilakukan dengan membaca dan mengolah data yang diperoleh dari literatur. Data yang dibaca dan diolah adalah data yang berhubungan dengan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya.

##### 2. Studi Simulasi dan Analitik

Metode simulasi dilakukan dengan cara mensimulasikan kasus yang dihadapi kedalam pemodelan sesuai dengan program yang digunakan. Dan selanjutnya hasil dari pemodelan dianalisa dengan teori-teori yang sudah ada dan membandingkannya dengan data pustaka.

##### 3. Bimbingan

Bertujuan untuk mendapatkan tambahan pengetahuan dan masukan dari dosen pembimbing serta koreksi terhadap kesalahan-kesalahan yang terjadi dalam penyusunan laporan tugas akhir. *Flowchart* yang digunakan dalam melakukan simulasi dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. *Flowchart* penelitian.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Pada Bab 1 menjelaskan tentang latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan laporan tugas akhir. Pada bab berikutnya berisi tentang pengertian material komposit, *metal matrix composite* (MMC), aluminium, *stir casting*, dan pengadukan.

Pada Bab 3 menjelaskan tentang uraian yang membahas *software* Fluent, skema numerik, diskretisasi, model turbulen, jenis grid dan kualitas *mesh* dan juga tentang pemodelan serta proses simulasi *stir casting*. Pada Bab 4 berisi hasil dan pembahasan yang didapat dari simulasi dengan kecepatan putar dan lama pengadukan.

Pada Bab 5 berisi tentang kesimpulan yang diambil setelah dilakukannya analisa serta saran penulis yang diharapkan bisa memberikan masukan untuk analisis yang lebih baik di masa yang akan datang. Terakhir adalah Daftar Pustaka menampilkan seluruh informasi dan dokumen tertulis yang dijadikan landasan dan pengembangan penelitian.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Material Komposit**

Komposit merupakan material teknik yang tersusun dari dua atau lebih fasa penyusun, yaitu fasa matrik dan fasa penguat [5]. Definisi lain menyatakan bahwa komposit adalah perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan sifat masing-masing bahan penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan masing-masing material penyusun [6].

Persyaratan dasar nilai kekuatan komposit terletak pada kekuatan antar muka matrik dan penguat. Ikatan antar muka inilah yang menjadi jembatan transmisi tegangan luar yang diberikan dari matrik menuju partikel penguat. Jika ikatan antarmuka terjadi dengan baik maka transmisi tegangan ini dapat berlangsung dengan baik pula.

Material komposit tersusun atas 2 (dua) bagian yang berbeda yaitu matrik dan penguat. Matrik merupakan fasa utama dan kontinu, berfungsi menahan fasa penguat dan meneruskan beban. Sedangkan penguat merupakan fasa kedua dan diskontinu yang dimasukkan kedalam matrik. Matrik memiliki sifat ulet, sementara itu penguat umumnya memiliki kekuatan lebih tinggi dari pada matrik, sehingga disebut fasa penguat (*reinforcing phase*). Sifat komposit tergantung dari beberapa faktor yang mempengaruhinya di antaranya adalah jenis material komposit yang digunakan, fraksi volume penguat, dimensi dan bentuk penguat dan beberapa variabel proses lainnya.

Bahan komposit dikembangkan sebagai bahan alternatif untuk mendapatkan sifat yang lebih baik seperti *high strength/modulus* dan densitas rendah yang sangat sesuai diterapkan dalam industri penerbangan, antariksa serta industri otomotif. Pada industri tersebut memang membutuhkan komponen yang lebih ringan namun memiliki karakteristik yang handal. Secara prinsip bahwa penguat yang kontinu memberikan sifat kekuatan spesifik lebih baik. Namun sayangnya, *high strength fibre* dan metode pembuatannya lebih mahal dibanding jenis komposit lainnya dan hal inilah yang membatasi penggunaannya dalam industri. Oleh karena keterbatasan dari

*continous reinforce* tersebut maka sekarang banyak dan intensif dikembangkan jenis komposit lain, yaitu komposit dengan *discontinous reinforce* [7].

Meskipun komposit dengan penguat diskontinu tidak menghasilkan sifat yang sama dan cenderung lebih rendah, akan tetapi biaya lebih murah, metode pembuatannya lebih mudah dan dapat diterapkan pada metode pembuatan yang konvensional. Kelebihan lainnya dari komposit dengan penguat diskontinu memberikan sifat yang isotropik, yaitu sifat yang sama dalam segala arah. Komposit dapat digolongkan berdasarkan jenis matrik dan bentuk penguatnya.

## 2.2 *Metal Matrix Composite* (MMC)

*Metal matrix composite* (MMC) berasal dari gabungan material berbahan dasar logam dengan keramik. MMC bisa disebut juga material yang terdiri dari matrik berupa logam dan paduannya yang diperkuat oleh bahan penguat dalam bentuk *continous fibre*, *whiskers*, atau *particulate*. Pembuatan *metal matrix composite* dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain, *powder metallurgy*, *diffusion bonding*, *liquid phase sintering*, *squeeze infiltration* dan *stir casting* [8].

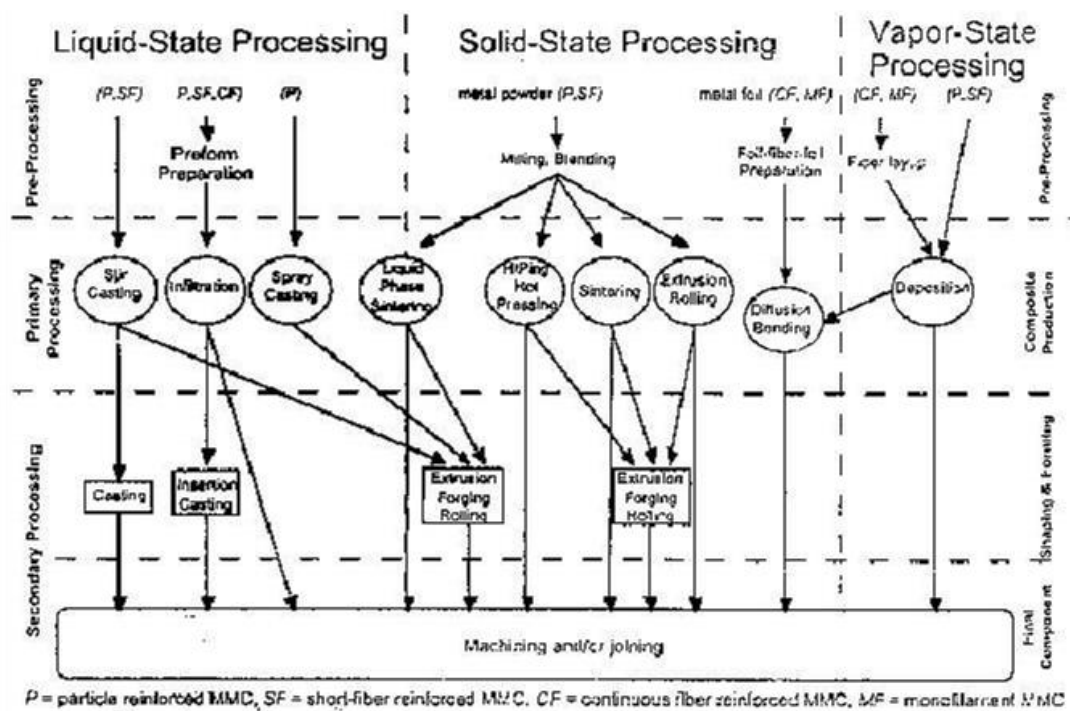
*Metal matrix composite* mewakili material yang sangat luas, termasuk didalamnya adalah *metallic foam*, *cermets*, juga partikel-partikel yang bersifat lebih konvensional, dan fiber yang diperkuat metal. Teknik pembuatan MMC tergantung pada matriks dan penguat yang digunakan, yang diklasifikasikan berdasarkan apakah matriks tersebut berada pada fasa padat, cair atau gas, ketika akan digabungkan dengan penguatnya. Setiap proses atau teknik tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Pada umumnya kelemahan utama terletak pada prosesnya yang mahal, proses yang paling murah adalah pengolahan MMC berbahan dasar aluminium dengan proses *stir casting* [9].

Alasan-alasan mengapa MMC telah menarik perhatian banyak pihak selama hampir 30 tahun [9]:

1. Pendekatan MMC dalam proses metalurgi adalah satu-satunya jalan untuk memproduksi berbagai macam dari komposit tersebut. Sehingga produk yang dihasilkan sangatlah luas (bervariasi). Hanya melalui cara inilah kita dapat menggabungkan aluminium, tembaga, magnesium dengan karbida, oksida atau

fasa nitrida. Karena material diatas mempunyai daya larut terhadap karbon, nitrogen didalam logam cair terlalu rendah.

2. MMC mempunyai modulus elastisitas yang lebih tinggi dari material pada umumnya. MMC juga dapat merupakan kombinasi sifat-sifat material yang diinginkan, seperti konduktifitas thermal tinggi digabung dengan *low thermal expansivity*, kombinasi yang penting untuk proses pengepakan elektronik.
3. MMC juga memberikan perubahan yang signifikan terhadap sifat-sifat material, seperti tahan terhadap temperatur tinggi, tidak bereaksi terhadap bahan kimia, angka kekerasan yang baik, dan tahan aus.
4. MMC dikembangkan karena kelebihanannya dalam segi berat dan dalam segi penggunaannya. Kecepatan operasi menggunakan MMC meningkat sebanyak 50 % pada mesin-mesin dengan kecepatan tinggi. Kombinasi sifat-sifat material yang unik antara ketahanan terhadap *fatigue*, kekakuan, massa yang ringan, sangat tepat digunakan untuk material pembuatan sepeda gunung dan sepeda jalan. Kekakuan meningkat hingga 50 % untuk bahan komposit *isotropic*.



Gambar 2.1 Diagram Alir Pembuatan MMC [8]

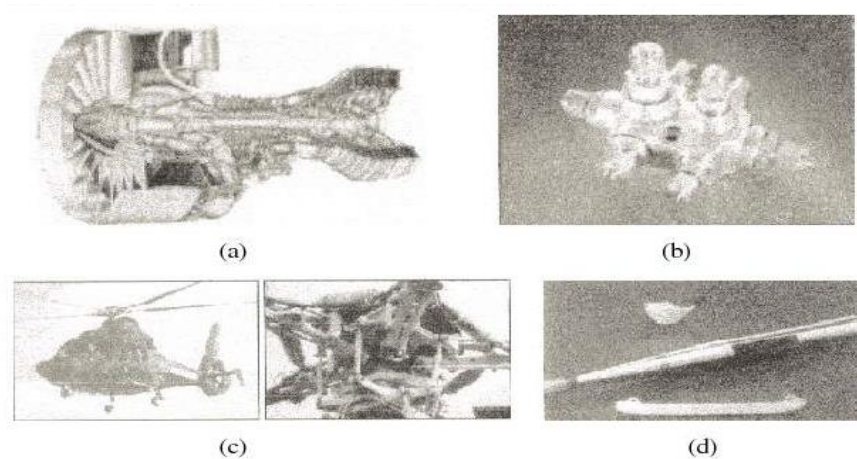


### 2.2.1 Jenis *Metal Matrix Composite* (MMC)

Pada umumnya MMC dikelompokkan berdasarkan pada bentuk pengikatnya, yaitu sebagai berikut [8]:

#### 1. *Particulate* MMC

*Particulate* MMC adalah MMC jenis utama dan paling sering digunakan serta dikembangkan dalam industri, aplikasinya dalam dunia industri juga sangat luas sekali, contohnya: *Fan Exit Guide Vanes* (FEGV) dari mesin turbin gas, *rotating blade sleeves* pada helikopter, *flight control hydraulic manifold*, pisau dari sepatu ski es, tongkat *baseball*, dan bagian pemukul pada tongkat golf.



Gambar 2.2 (a) *Fan Exit Guide Vanes* (FEGV), (b) *Rotating blade sleeve*, (c) *Flight control hydraulic manifold*, (d) pisau dari ski es, tongkat *baseball*, dan bagian pemukul pada tongkat golf [8]

Bahan penguat yang paling umum adalah SiC atau  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . SiC bereaksi dengan Al pada saat meleleh dan SiC bahkan bereaksi dengan Ti pada keadaan padat. Alumina bersifat kurang efektif, dibandingkan dengan SiC, dalam paduan Al, tetapi Alumina sangat bereaksi terhadap Ti. Stabilitas paling baik untuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  adalah dengan matriks Mg. Umumnya *particulate* MMC maksimal mengandung keramik 25 % vol jika digunakan fungsi struktural, tetapi juga dapat mengandung keramik hingga 80 % volume jika digunakan untuk pengepakan elektrik.

*Particulate* MMC pada umumnya dibuat dengan cara dilelehkan dan diteruskan dengan teknik pengecoran atau pencampuran serbuk (*powder blending*) dan penggabungan (*consolidation*).

## 2. *Short Fiber* MMC

*Short fiber* MMC pertama kali menarik perhatian publik pada pertengahan tahun 1980, ketika dikembangkannya mesin diesel dimana material yang digunakan diperkuat dengan *short alumina fiber*. Fiber ini mempunyai butir-butir *polycrystalline* yang kecil. Karakteristiknya dipengaruhi oleh derajat reaksi selama proses, yang dipengaruhi oleh susunan kimia permukaan fiber. Sebagai contoh permukaan saffil fiber mempunyai lapisan tipis yang mengandung banyak silika yang cenderung bereaksi dengan lelehan Al selama pemrosesan. Pengolahan fiber lebih lanjut, seperti *forging* dan ekstrusi, dapat dilakukan jika memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Kelebihan MMC jenis ini jika dibandingkan dengan *particulate* MMC adalah ketahanannya terhadap *creep*. MMC jenis ini biasanya diproduksi dengan metode *squeeze infiltration*.

Sifat-sifat mekanik yang superior dapat diperoleh jika struktur butirnya diganti dengan sebuah kristal, hal ini dinamakan *whisker*. Fiber yang tipis dibuat sebagai *monocrystals*. *Whiskers* mempunyai diameter  $\leq 1 \mu m$ , sehingga aspek rasionya meningkat beberapa ratus. Kekuatan tariknya sangat tinggi, walaupun biaya pembuatannya sangat mahal. Namun masalah utama pada material ini adalah *whiskers* dan fragmen *whiskers*, jika tersebar di udara dalam ukuran sub-mikron dan terhirup, maka akan merusak paru-paru. Untuk mencegah resiko kesehatan yang lebih lanjut, maka produksi dari material tersebut telah dibatasi. Material tersebut digunakan untuk bahan piston, *cylinder liner* dan sebagai *track shoes* dalam tank militer.

## 3. *Long Fiber* MMC

Beberapa macam *long fiber* MMCs ada yang telah dipelajari dan ada yang beberapa diantaranya telah digunakan pada beberapa aplikasi tertentu. Bagaimanapun, sebagai konsekuensi dari sulitnya pengolahan dan batasan pada sifat ketangguhannya, penggunaan MMC jenis ini masih terbatas. Pengertian dari multifilamen mengarah pada fiber dengan diameter relatif kecil (5-30  $\mu m$ ), yang

penanganannya cukup mudah dalam bentuk deretan atau rangkaian. Material yang termasuk dalam golongan ini antara lain karbon, SiC, dan berbagai macam oksida. Beberapa multifilamen umum digunakan, namun sebagian besar tidak dapat bertahan pada temperatur yang terjadi selama proses produksi MMC.

*Carbon fiber* tidak begitu populer untuk digunakan sebagai penguat pada MMC dikarenakan korosi galvanis yang terjadi. Masalah karena reaksi kimia juga muncul pada paduan Al, Ti dan besi. Pada Al, reaksi yang terjadi bersifat higroskopik, dimana Al yang diperkuat dengan *graphite fiber* akan cenderung mengalami korosi yang terus-menerus dalam lingkungan berair. Berbagai cara dilakukan untuk melindungi *carbon fiber* dengan melapisi permukaannya menggunakan titanium nitrida, namun pada umumnya cara ini masih mahal dan sulit dilakukan pada *multifilament*.

#### 4. *Cermets*

Struktur mikro *cermets* terdiri dari rangkaian partikel keramik yang diikat oleh metal (dalam porsi kecil), *cermets* dapat dianggap sebagai jenis MMC yang spesial. Faktor utama yang menyebabkan *cermets* banyak diminati oleh dunia industri adalah proses produksinya yang mudah. Biasanya MMC ini diproduksi dengan mencampurkan serbuk keramik berkisar 1-10 $\mu$ m. Untuk produksi *cermets* dengan *base oksida* perlu diberikan tekanan hidrostatik untuk menghilangkan porositas.

#### 5. *Metalic Foams*

*Metalic foams* telah banyak menarik perhatian akhir-akhir ini, hal ini dikarenakan biaya produksi material yang rendah dan berbagai kombinasi sifat material yang bisa dihasilkan. Ada beberapa cara dapat digunakan untuk memproduksi material ini, terutama dengan membuat *close cell structures*, yang melibatkan pemrosesan material dalam keadaan cair dan *semisolid*. Masalah yang dihadapi dari pembuatan produk ini adalah viskositas logam cair yang rendah. Sering diperlukan untuk menstabilkan *foam* yang ada dengan mendispersikan keramik, baik dalam bentuk *oksida film* maupun dalam bentuk serbuk keramik, hal ini akan membantu menaikkan viskositasnya.

## 2.3 Aluminium

Logam Al merupakan logam monolitik, bila ditinjau dari sifat mekanisnya, seperti nilai kekerasan, memiliki nilai kekerasan yang rendah. Oleh sebab itu, sebagai logam monolitik, Al memiliki beberapa kelemahan, terutama pada sifat mekanisnya. Akan tetapi, logam Al memiliki beberapa kelebihan, yaitu memiliki bobot yang ringan, tahan terhadap korosi dan juga mudah dibentuk [10].

Ada beberapa cara yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik logam, salah satunya adalah dengan cara penambahan unsur penguat (*reinforcement*). Unsur penguat yang digunakan haruslah material yang keras, misalnya adalah keramik. Jenis-jenis keramik yang digunakan pada umumnya adalah  $Al_2O_3$ , SiC, TiC,  $ZrO_2$ , karbon, grafit dll. Diantara material keramik tersebut, yang paling keras adalah SiC [11]. Sifat mekanik dan fisik matrik aluminium dapat di lihat di tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat fisik dan mekanik logam Aluminium [12]

<i>Density, <math>\rho</math></i>	2,7 g/cm <sup>3</sup>
Modulus elastisitas, E	71 Gpa
Kekerasan	19 VHN
<i>Yield strength <math>\sigma_Y</math></i>	25 Mpa
Konduktivitas termal, C	237 W/mK
<i>C.T.E</i>	$2,4 \cdot 10^{-5} / ^\circ C$

### 2.3.1 Karakteristik Aluminium

Aluminium sangatlah luas penggunaannya dalam dunia industri karena karakteristik yang dimilikinya, antara lain:

- *Strength-to weight* rasio yang tinggi
- Ketahanan terhadap korosi yang baik
- Memiliki konduktivitas termal dan elektrik yang baik
- Kemudahan dalam proses pembentukan dan pemesinan

Tabel 2.2 Temperatur tuang beberapa jenis logam [13]

Jenis Paduan	Temperatur Tuang °C
Besi Tuang Kelabu	1350-1450
Magnesium	760-800
Tembaga	1200-1280
Kuningan	1100-1150
Aluminium	750-700

Pada tabel 2.2 dijabarkan temperatur tuang dari beberapa jenis logam. Temperatur tuang pada saat proses pengecoran juga perlu diperhatikan. Hal ini disebabkan karena pada beberapa jenis logam, temperatur tuang dapat berpengaruh secara signifikan. Seperti pada aluminium murni, apabila temperatur tuang melebihi 800 °C, maka logam cair dengan mudah akan mengalami oksidasi, sehingga *slag* yang dihasilkan akan lebih banyak.

### 2.3.2 Peleburan Aluminium

Temperatur tuang pada aluminium cair perlu diperhatikan karena aluminium cair dengan suhu yang sangat tinggi sangat rentan terhadap oksidasi. Sebaliknya, apabila temperatur penuangan terlalu rendah, maka aluminium cair akan terlalu cepat membeku yang berakibat aluminium cair gagal mengisi seluruh rongga cetak.

Aluminium cair dalam keadaan temperatur yang tinggi bersifat sangat reaktif dengan hidrogen menurut reaksi:  $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}$ . Hidrogen ini diperoleh dari udara yang mengandung uap air. Hidrogen yang terjadi dari reaksi tersebut di atas akan terlarut dalam aluminium cair dan kelarutan hidrogen tersebut akan meningkat dalam aluminium cair tersebut seiring dengan kenaikan suhu dari aluminium murni. Hidrogen yang terlarut ini akan menyebabkan cacat porositas pada aluminium. Oleh karena itu, temperatur aluminium yang akan dicor tidak boleh terlalu tinggi, untuk menghindari semakin banyaknya hidrogen yang terlarut, sehingga mengakibatkan semakin banyaknya cacat pada produk cor.

## 2.4 Material Keramik SiC

Keramik mempunyai ikatan ionik yang tinggi, keadaan sedemikian menyebabkan bahan ini dikategorikan sebagai bahan yang bersifat kuat dan rapuh. Selain material keramik bersifat rapuh, tetapi juga mempunyai kelebihan, antara lain: koefisien ekspansi termalnya rendah sehingga lebih tahan terhadap kejutan suhu. Ketahanannya pada suhu tinggi merupakan sifat penting dan menjadi faktor utama untuk dipertimbangkan dalam pemilihan bahan baru keramik yang berkekuatan tinggi. Kelemahan dari material keramik adalah sifat rapuhnya, sehingga bila terjadi retak mikro, maka akan mudah menjalar retakan tersebut dan dapat menyebabkan kerusakan (*failure*).

Silikon karbida dengan formula SiC tergolong salah satu jenis material keramik non oksida. SiC membentuk struktur tetrahedral dari ikatan atom karbon C dan atom Si. Material ini tergolong material yang sangat keras dan tahan terhadap *abrasive*. Serbuk keramik SiC ada dua macam, dapat dibagi berdasarkan bentuknya, yaitu: partikulat dan serabut (*whiskers*).

Senyawa SiC memiliki keunggulan diantara logam keramik yang lain yaitu mudah berikatan dan tidak menyebabkan oksidasi pada logam Al. Material-material keramik seperti Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan ZrO<sub>2</sub> juga relatif keras dan kuat, tetapi sulit berikatan dengan logam Al. Adanya unsure oksigen juga dapat menyebabkan oksidasi pada material komposit Al [10]. Berikut ini beberapa penguat bentuk *particulate* (p), *whisker* (w) dan *chopped fibre* (c).

Tabel 2.3 Sifat beberapa jenis penguat bentuk *particulat* (p), *whisker* (w) *chopped fibre* (c) [14]

Sifat	Penguat			
	SiCp	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> p	SiCw	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> c
<i>Density</i> , ρ	3.21	3.87	3.19	3.3
Diameter, μm	....	....	0.1-1.0	3-4
<i>C.T.E</i> , 10 <sup>-5</sup> .K <sup>-1</sup>	4.3-5.6	7.2-8.6	4.8	9
UTS, Mpa	100-800	70- 1000	3000- 14000	>2000
Modulus Young, Gpa	200-480	380	400-700	300
<i>Elongation</i> , %			1.23	0.67

Silikon karbida memiliki kurang lebih 70 bentuk kristal, dan yang paling terkenal adalah struktur kristal heksagonal dengan komponen alpha silikon karbida ( $\alpha$ -SiC) dan mulai terbentuk pada suhu sekitar 2000 °C. Selain  $\alpha$ -SiC juga ada struktur beta silikon karbida ( $\beta$ -SiC), fasa ini terbentuk dibawah suhu 2000 °C, dan terbanyak yang beredar dipasaran adalah  $\beta$ -SiC [14].

Silikon karbida memiliki densitas sekitar 3.2 g/cm<sup>3</sup>, memiliki temperatur sublimasi sekitar 2700 °C sehingga banyak dipergunakan sebagai *bearings* dan *sparepart* untuk tungku. Silikon karbida tidak mudah melebur pada berbagai kondisi tekanan, dan relatif lebih tahan terhadap bahan kimia [14].

Keramik SiC memiliki kuat tekan sebesar 4600 MPa, dan koefisien ekspansi termal yang relatif rendah, yaitu: 4.51 - 4.73 μm/m °C [16]. Sifat-sifat SiC yang paling istimewa, antara lain: daya hantar panas tinggi, tahan pada temperatur tinggi, nilai kekerasan tinggi, tahan kejutan termal dan tahan terhadap korosi. Ketahanan SiC terhadap korosi ditunjukkan dengan adanya abu batubara, *slag* asam, dan *slag* netral pada saat material tersebut diaplikasikan.

Ketahanan panas SiC ditunjukkan dari suhu pemakaian yang dapat mencapai 2200 - 2700 °C. Pada 1000 °C terbentuk lapisan oksidasi berupa SiO. Material SiC mempunyai ketahanan oksidasi di udara terbuka mampu mencapai suhu 1700 °C

[17]. Silikon karbida dibuat melalui proses reduksi silika dengan karbon pada suhu tinggi. Untuk mendapatkan SiC dengan kemurnian tinggi maka terlebih dahulu silika dicuci dengan *hydrofluoric acid* [17].

## 2.5 *Stir Casting*

*Stir casting* adalah proses pengecoran dengan cara menambahkan suatu logam murni (biasanya aluminium) dengan suatu unsur penguat, dengan cara melebur logam murni tersebut kemudian logam murni yang sudah mencair tersebut diaduk-aduk secara terus menerus hingga terbentuk sebuah pusran, kemudian unsure penguat (berupa serbuk) tersebut dicampurkan sedikit demi sedikit melalui tepi dari pusran yang telah terbentuk itu [3].

Dalam proses penambahan partikel selama pengadukan berlangsung, terdapat beberapa kerugian yaitu: material yang diaduk tersebut akan menggumpal pada bagian-bagian tertentu yang disebabkan oleh partikel. Hal ini akan menyebabkan meningkatnya kekentalan pada logam cair paduan tersebut. Penambahan partikel melalui bagian atas tersebut akan menyebabkan ikut masuknya udara bebas yang berupa kantong-kantong udara diantara partikel tersebut. Penambahan partikel ini juga harus dikurangi terutama pada saat volume partikel yang akan digunakan meningkat. Proses tersebut akan memakan waktu yang sangat lama untuk pembuatan produk yang lebih besar. Apabila semua bahan dimasukkan ke dalam dapur peleburan dan dileburkan dalam udara terbuka hingga logam paduan dan komposit (SiC) tercampur secara merata, akan meningkatkan ikatan diantara partikel SiC dan aluminium itu sendiri. Keberhasilan penambahan partikel silikon karbida dalam paduan matriks telah menunjukkan bahwa ikatan diantara partikel silikon karbida dan sifat-sifat mekanik, seperti: kekuatan tegangan dan kekerasan akan meningkat secara signifikan. Dan hasil *stir casting* ini biasanya disebut *Metal Matrix Composite* (MMC).

Ada beberapa keuntungan dari proses *stir casting*, diantaranya adalah [4]:

1. Dapat memperoleh suatu material tertentu yang sulit dan tidak mungkin didapatkan dengan proses lain (memadukan suatu logam dengan suatu bahan penguat).



2. Proses *stir casting* mempunyai prospek yang sangat baik dalam bidang pekerjaan karena produk dari *stir casting* tersebut relatif lebih baik sifat mekaniknya bila dibandingkan dengan hasil-hasil *casting* yang lain.
3. Proses *stir casting* lebih ekonomis karena material paduan yang ditambahkan merupakan material sisa-sisa dari suatu produksi yang pada umumnya sudah tidak dipakai lagi.
4. Dengan adanya proses pengadukan dalam *stir casting* maka hasil produk cor akan menjadi lebih baik. Karena memungkinkan gelembung-gelembung udara yang terperangkap dalam logam cair selama proses penuangan untuk naik ke permukaan logam cair, sehingga cacat akibat terjebakny udara dalam produk cor dapat berkurang.

## 2.6 Perancangan Alat *Stir Casting*

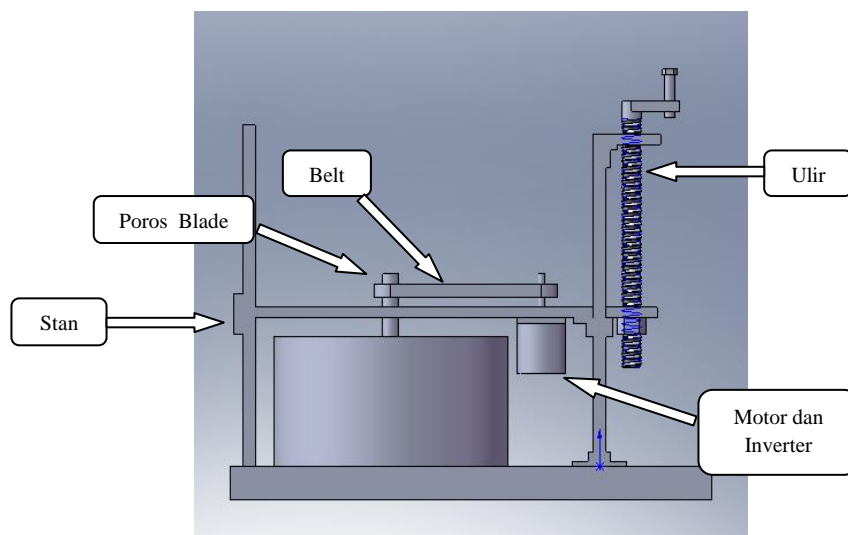
Pada mata kuliah tugas perancangan semester 7, telah dirancang alat *stir casting* yang akan digunakan pada PT. NEVA di Tegal. PT. NEVA merupakan perusahaan UKM yang mengandalkan proses pengecoran aluminium sebagai basis ekonominya. Produk yang telah dibuat PT. NEVA adalah blok mesin, *velg*, piston, dan lain-lain.

PT. NEVA mengeluhkan kelemahan yang terjadi pada produk *casting* yang telah dibuat. Rata-rata umur dari produk yang mereka buat tidak dapat bertahan lama. Berbeda dengan produk *import* yang dapat bertahan hingga 3 tahun. Untuk itu diharapkan pengusaha UKM dapat meningkatkan sifat fisik dan sifat mekanik produk *casting* mereka agar dapat bersaing dengan produk-produk *import* yang ada di pasaran.



Gambar 2.3 Produk pengecoran PT NEVA di Tegal

Rancangan alat *stir casting* yang telah dibuat disesuaikan dengan dimensi dapur peleburan yang ada di PT NEVA. Untuk memutar *blade*, digunakan motor listrik jenis motor AC 3 fasa dengan daya  $\frac{1}{2}$  HP dan memiliki kecepatan putar maksimum 1500 rpm. Digunakan juga inverter dengan daya 1 HP untuk mengatur kecepatan putar pada motor AC.



Gambar 2.4 Rancangan alat *stir casting*



Gambar 2.5 Dapur peleburan PT. NEVA



Gambar 2.6 Bahan baku aluminium yang digunakan PT. NEVA

## 2.7 Pengadukan dan Pencampuran

Pengadukan adalah operasi yang menciptakan terjadinya gerakan dari bahan yang diaduk seperti molekul- molekul, zat-zat yang bergerak atau komponennya menyebar (terdispersi). Tujuan Pengadukan adalah untuk mencampur dua cairan yang saling melarut, melarutkan padatan dalam cairan, mendispersikan gas dalam cairan dalam bentuk gelembung dan untuk mempercepat perpindahan panas antara fluida dengan koil pemanas dan dinding bejana.

Pencampuran adalah operasi yang menyebabkan tersebarnya secara acak suatu bahan ke bahan yang lain dimana bahan-bahan tersebut terpisah dalam dua fasa atau lebih. Proses pencampuran bisa dilakukan dalam sebuah tangki berpengaduk. Hal ini dikarenakan faktor-faktor penting yang berkaitan dengan proses ini, dalam aplikasi nyata bisa dipelajari dengan seksama dalam alat ini. Faktor-faktor yang

mempengaruhi proses pengadukan dan pencampuran diantaranya adalah perbandingan antara geometri tangki dengan geometri pengaduk, bentuk dan jumlah pengaduk, posisi sumbu pengaduk, kecepatan putaran pengaduk, penggunaan sekat dalam tangki dan juga properti fisik fluida yang diaduk yaitu densitas dan viskositas. Oleh karena itu, perlu tersedia seperangkat alat tangki berpengaduk yang bisa digunakan untuk mempelajari operasi dari pengadukan dan pencampuran tersebut.

Pencampuran terjadi pada tiga tingkatan yang berbeda yaitu:

1. Mekanisme konvektif: pencampuran yang disebabkan aliran cairan secara keseluruhan (*bulk flow*).
2. *Eddy diffusion*: pencampuran karena adanya gumpalan - gumpalan fluida yang terbentuk dan tercampakan dalam medan aliran.
3. *Diffusion*: pencampuran karena gerakan molekuler.

Ketiga mekanisme terjadi secara bersama-sama, tetapi yang paling menentukan adalah *eddy diffusion*. Mekanisme ini membedakan pencampuran dalam keadaan turbulen dengan pencampuran dalam medan aliran laminar. Sifat fisik fluida yang berpengaruh pada proses pengadukan adalah densitas dan viskositas.

Secara khusus, proses pengadukan dan pencampuran digunakan untuk mengatasi tiga jenis permasalahan utama, yaitu:

1. Untuk menghasilkan keseragaman statis ataupun dinamis pada sistem multifasa multikomponen.
2. Untuk memfasilitasi perpindahan massa atau energi diantara bagian-bagian dari sistem yang tidak seragam.
3. Untuk menunjukkan perubahan fasa pada sistem multikomponen dengan atau tanpa perubahan komposisi.

Aplikasi pengadukan dan pencampuran bisa ditemukan dalam rentang yang luas, diantaranya dalam proses suspensi padatan, dispersi gas-cair, cair-cair maupun padat-cair, kristalisasi, perpindahan panas dan reaksi kimia.

## **BAB III**

### **PIRANTI PEMROGRAMAN DAN SIMULASI**

#### **3.1 *Computatuonal Fluid Dynamic (CFD)***

Selain pengujian terowongan angin atau yang sering disebut dengan *Eksperimental Fluid Dynamic* (EFD), CFD adalah suatu sistem yang dapat digunakan untuk menganalisa masalah-masalah aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena yang berhubungan dengan reaksi kimia, dengan menggunakan perangkat lunak pada komputer.

Dalam beberapa hal, CFD memiliki kelebihan dibandingkan EFD. Sebagai contoh, CFD membutuhkan waktu lebih singkat dibandingkan EFD untuk memperoleh data-data tentang turbulensi, medan tekanan, dan medan aliran 3D yang sangat kompleks. Perhitungan CFD akan memberikan suatu analisa medan aliran yang menyeluruh. Hal ini akan memberikan analisa struktur aliran yang sangat sulit untuk diukur. Contoh lain kelebihan CFD adalah instrumentasi yang sederhana dan murah dibandingkan EFD yang sangat kompleks dan mahal.

Dalam penelitian ini, penulis hanya akan melakukan simulasi aliran fluida dengan CFD. Paket CFD pada umumnya terbagi tiga bagian yaitu, *preprocessor*, *solver*, dan *post processor*.

#### **3.2 *Software FLUENT***

FLUENT 6.3.26 merupakan program komputer yang ditulis dalam bahasa program C untuk memodelkan aliran fluida dan perpindahan panas dalam geometri yang kompleks. FLUENT memberikan fleksibilitas *mesh* yang lengkap, memecahkan masalah aliran dengan *mesh* yang tidak terstruktur yang dapat dihasilkan dengan cara yang relatif mudah pada geometri yang kompleks. FLUENT juga dapat memperhalus atau mengkasarkan grid berdasarkan solusi aliran. Kemampuan adaptasi grid ini berguna untuk memprediksi medan aliran dalam daerah dengan gradien yang besar, seperti lapisan geser bebas dan lapisan batas. FLUENT juga dilengkapi dengan paket GAMBIT sebagai preprosesor untuk pemodelan geometri dan generasi *mesh*.

### 3.2.1 *Pre-processor*

Pada tahap ini langkah-langkah yang dikerjakan adalah:

- Mendefinisikan daerah dan geometri yang diinginkan (*computational domain*).
- Membagi *domain* menjadi bagian-bagian kecil: elemen volume atur.
- Memilih fenomena fisik atau kimia yang diperlukan.
- Menentukan kondisi batas yang tepat tiap batas geometri atau *domain*.
- Menentukan tingkat akurasi yang diinginkan.
- Menentukan waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil berdasarkan kemampuan komputer.

### 3.2.2 *Solver*

Pada tahap ini langkah-langkah yang dikerjakan adalah:

- Memperkirakan aliran variabel yang tidak diketahui.
- Mendeskreditkan persamaan aliran dan berikutnya melakukan manipulasi.
- Solusi dari persamaan aljabar.

### 3.2.3 *Post-processor*

Pada tahap ini hal-hal yang diperlukan adalah:

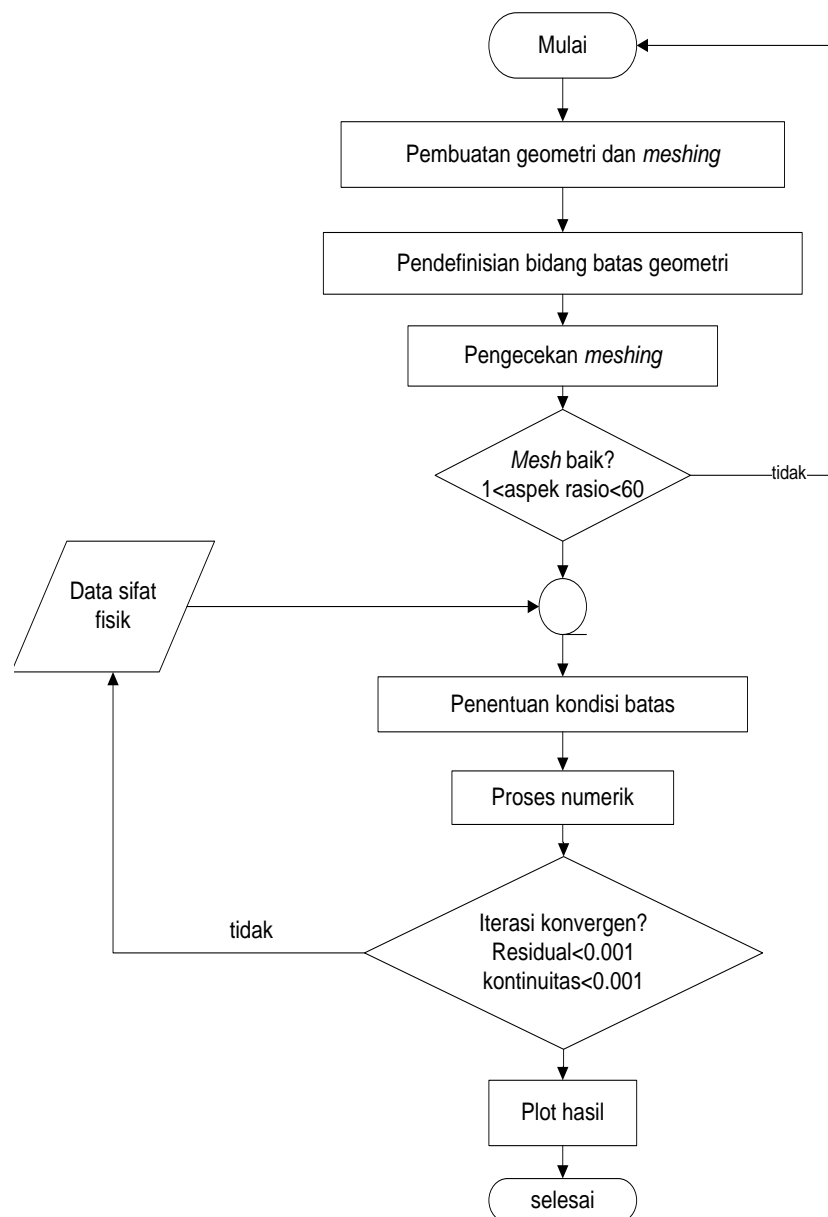
- Menunjukkan geometri dan grid
- Plot vektor
- Animasi

Langkah-langkah FLUENT dalam menyelesaikan suatu simulasi adalah

1. Membuat geometri dan *mesh* pada model.
2. Memilih *solver* yang tepat untuk model tersebut (2d atau 3d).
3. Mengimpor *mesh* model (grid).
4. Melakukan pemeriksaan pada *mesh* model.
5. Memilih formulasi *solver*.
6. Memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisa.
7. Menentukan sifat material yang akan dipakai.
8. Menentukan kondisi batas.

9. Mengatur parameter control solusi.
10. *Initialize the flow field.*
11. Melakukan perhitungan/iterasi.
12. Menyimpan hasil iterasi.
13. Jika diperlukan, memperhalus grid kemudian melakukan iterasi ulang.

Gambar 3.1 merupakan diagram alir langkah-langkah prosedur simulasi dari *preprocessing*, *solving* dan *postprocessing*.



Gambar 3.1 Diagram alir prosedur simulasi FLUENT

### 3.3 Skema Numerik

Ada dua metode numerik yang disediakan oleh FLUENT, yaitu *solver segregated* dan *solver coupled*. FLUENT memecahkan persamaan integral umum, kekekalan massa, momentum, energi serta besaran skalar lain seperti turbulensi. Kedua metode ini menggunakan teknik berbasis volume kendali yang terdiri dari:

- a. Pembagian daerah asal (*domain*) ke dalam volume kendali diskret dengan menggunakan grid komputasi.
- b. Integrasi persamaan umum pada volume kendali untuk membangun persamaan aljabar variabel tak bebas yang diketahui seperti kecepatan, tekanan, suhu dan sebagainya.
- c. Linierisasi persamaan terdiskretisasi dan solusi sistem persamaan linier resultant untuk menghasilkan nilai-nilai taksiran variabel tak bebas.

Dua metode numerik di atas menggunakan proses diskretisasi yang sama yaitu volume hingga (*finite volume*). Perbedaannya hanyalah terletak pada pendekatan yang digunakan untuk melinierisasikan dan memecahkan persamaan terdiskretisasi.

#### 3.3.1 Metode Solusi *Pressure Based*

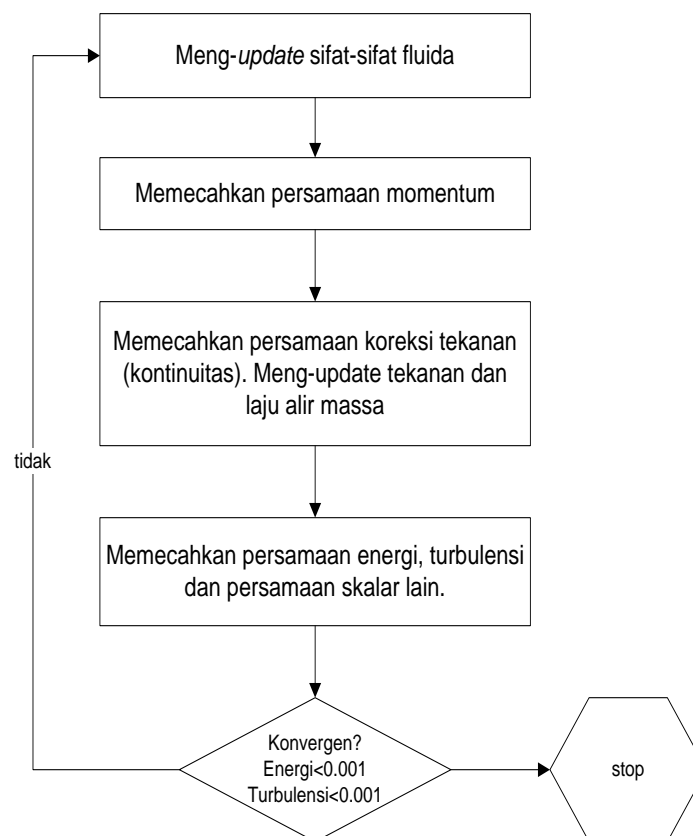
Metode solusi *segregated* menyelesaikan persamaan umum secara terpisah satu sama lain. Pendekatan yang digunakan adalah memecahkan suatu medan variabel tunggal dengan mempertimbangkan seluruh sel pada waktu yang sama. Selanjutnya memecahkan medan variabel berikutnya dengan tetap mempertimbangkan seluruh sel pada waktu yang sama, dan begitu seterusnya. Karena persamaan diferensial umum adalah non linier, beberapa iterasi harus dilakukan sebelum solusi yang konvergen diperoleh. Untuk tiap iterasi terdiri dari tahapan-tahapan seperti yang diilustrasikan sebagai berikut:

- a. Sifat-sifat fluida diperbarui (*update*) berdasarkan solusi yang ada. Untuk perhitungan awal, sifat-sifat ini di-*update* berdasarkan solusi awal (*initialized solution*).
- b. Persamaan momentum  $u$ ,  $v$  dan  $w$  dipecahkan dengan menggunakan nilai-nilai tekanan dan fluks massa sisi.



- c. Karena kecepatan yang diperoleh dalam tahap yang pertama tidak mungkin memenuhi persamaan kontinuitas secara lokal, persamaan “*Poisson-type*” untuk koreksi tekanan diturunkan dari persamaan kontinuitas dan persamaan momentum linier. Persamaan koreksi tekanan ini kemudian dipecahkan untuk memperoleh koreksi yang dibutuhkan untuk medan tekanan dan kecepatan serta fluks massa sampai kontinuitas dipenuhi.
- d. Menyelesaikan persamaan-persamaan untuk besaran skalar seperti turbulensi, energi, radiasi dengan menggunakan nilai-nilai variabel lain yang di-*update*.
- e. Mengecek konvergensi persamaan.

Tahapan-tahapan ini dilanjutkan sampai kriteria konvergensi tercapai.



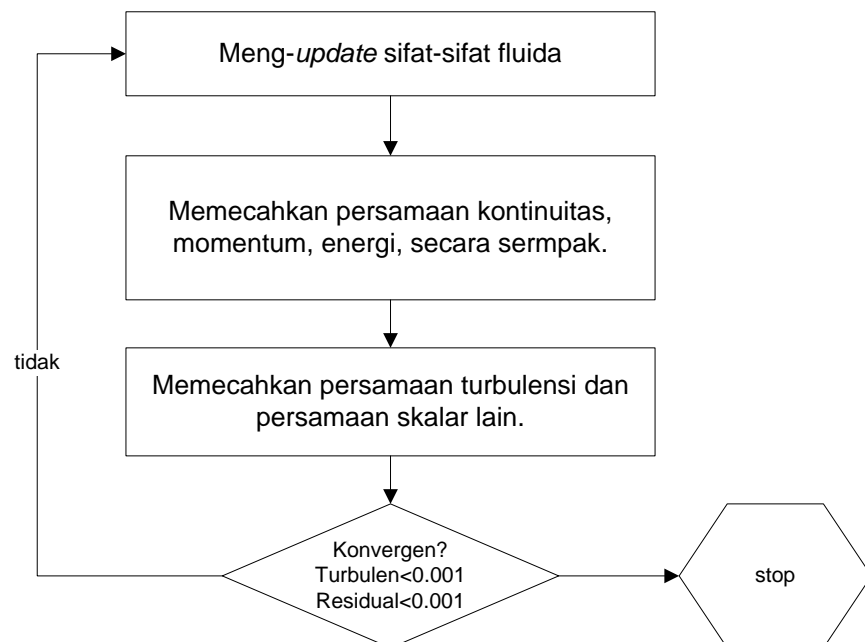
Gambar 3.2. Skema metode solusi *pressure based*

### 3.3.2 Metode Solusi *Density Based*

Pendekatan yang dilakukan oleh metode *density based* adalah memecahkan persamaan kontinuitas, momentum dan energi secara serempak. Untuk tiap iterasi terdiri dari tahapan-tahapan seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.2, yakni sebagai berikut:

- Sifat-sifat fluida di-*update* berdasarkan solusi yang ada. Jika perhitungan baru saja dimulai, sifat-sifat fluida akan di-*update* berdasarkan solusi awal.
- Persamaan kontinuitas, momentum dan energi jika ada serta besaran-besaran lainnya dipecahkan secara serempak.
- Jika ada, persamaan-persamaan skalar seperti turbulensi dan radiasi dipecahkan dengan menggunakan nilai yang di-*update* sebelumnya berdasarkan variabel-variabel lain.
- Mengecek konvergensi persamaan yang telah dibuat.

Tahap-tahap ini berlanjut hingga diperoleh kriteria konvergensi.



Gambar 3.3 Skema metode solusi *density based*

### 3.4 Diskretisasi

FLUENT menggunakan suatu teknik berbasis volume kendali untuk mengubah bentuk persamaan diferensial umum ke bentuk persamaan aljabar agar dapat dipecahkan secara numerik. Teknik volume kendali ini intinya adalah pengintegralan persamaan differensial umum untuk setiap volume kendali, sehingga menghasilkan suatu persamaan diskrit yang mengekalkan setiap besaran pada suatu basis volume kendali. Diskretisasi persamaan umum dapat diilustrasikan dengan menyatakan persamaan kekekalan kondisi *steady* untuk *transport* suatu besaran skalar  $\phi$ . Hal ini ditunjukkan dengan persamaan yang ditulis dalam bentuk integral untuk volume kendali sembarang sebagai berikut:

$$\int \rho \phi v \cdot dA = \int \Gamma_{\phi} \nabla_{\phi} \cdot dA + \int S_{\phi} dV \quad (3.1)$$

Suku konveksi   Suku difusi   Suku sumber

dimana

$\rho$  = Kerapatan fluida

$v$  = vektor kecepatan ( $u\hat{i} + v\hat{j}$  dalam 2D)

$A$  = vektor area permukaan

$\Gamma_{\phi}$  = koefisien difusi untuk  $\phi$

$\nabla_{\phi}$  = gradien  $\phi$  ( $\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)\hat{i} + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y}\right)\hat{j}$  dalam 2D)

$S_{\phi}$  = Sumber  $\phi$  tiap satuan volume

Persamaan (3.1) diterapkan untuk tiap volume kendali atau sel dalam daerah asal komputasi (*domain*). Diskretisasi persamaan (3.1) pada sel tertentu diberikan:

$$\sum_f^{N_{force}} v_f \phi_f A_f = \sum_f^{N_{force}} \Gamma_{\phi} (\nabla_{\phi})_n A_f + S_{\phi} V \quad (3.2)$$

dimana

$N_{sisi}$  = Jumlah sisi

$\Phi_f$  = nilai  $\phi$  yang dikonveksikan melalui sisi  $f$

$v_f$  = fluks massa yang melalui sisi

$A_f$  = luas sisi f,  $|A| = |A_x i + A_y j|$  dalam 2D

$\nabla\phi_n$  = jumlah  $\nabla\phi$  yang tegak lurus terhadap sisi f

$V$  = Volume sel

FLUENT menyimpan nilai-nilai diskrit skalar  $\phi$  pada pusat-pusat sel. Meskipun demikian, nilai-nilai sisi  $\phi_f$  diperlukan untuk suku konveksi dalam persamaan (3.2) dan harus diinterpolasi dari nilai-nilai pusat sel. Hal ini diselesaikan dengan menggunakan *upwind*. *Upwinding* berarti bahwa nilai sisi  $\phi_f$  diturunkan dari besaran-besaran hulu atau “*upwind*”, relatif terhadap arah kecepatan tegak lurus  $v_n$  dalam persamaan (3.2).

#### 3.4.1 *First-Order Upwind*

Ketika menginginkan keakuratan (*accuracy*) orde-pertama, besaran-besaran sisi sel ditentukan dengan cara mengasumsikan bahwa nilai-nilai pusat sel pada beberapa variabel medan menggambarkan nilai rata-rata sel dan berlaku untuk seluruh wilayah sel; besaran-besaran sisi identik dengan besaran-besaran sel. Oleh karena itu, ketika *first-order upwind* dipilih, nilai sisi  $\phi_f$  diatur sama dengan nilai pusat  $\phi$  pada sel upstream.

#### 3.4.2 *Under-Relaxation Factor, $\alpha$*

Ketidaklinearan persamaan yang dipecahkan oleh FLUENT dapat mengakibatkan perubahan  $\phi$  yang dihasilkan pada tiap iterasi menjadi tidak teratur. Hal ini dapat dicegah dengan memanfaatkan faktor *under-relaxation*. Selain itu, *under-relaxation* ini dapat digunakan untuk mempercepat atau memperlambat perubahan variabel tersebut dari iterasi ke iterasi, juga untuk mencegah divergensi dalam solusi iterasi persamaan aljabar nonlinear. Dalam bentuk yang sederhana, nilai variabel  $\phi$  yang baru dalam sebuah sel tergantung pada nilai  $\phi$  sebelumnya,  $\phi_{old}$ , perubahan  $\Delta\phi$  yang dihitung, dan faktor *under-relaxation*,  $\alpha$ , sebagai berikut:

$$\phi = \phi_{old} + \alpha\Delta\phi \quad (3.3)$$

Harga faktor *under-relaxation*,  $\alpha$ , ditetapkan antara 0 dan 1. Untuk nilai  $\alpha$  yang sangat kecil, perubahan  $\phi$  menjadi sangat kecil pula.

Tidak ada aturan umum untuk pemilihan nilai  $\alpha$  yang terbaik. Nilai  $\alpha$  yang optimal akan tergantung pada jumlah faktor, seperti sifat kasus itu sendiri, jumlah titik-titik grid, grid *spacing*, dan prosedur iterasi yang digunakan.

### 3.5 Pressure Based

Persamaan momentum dan kontinuitas dalam bentuk integral adalah:

$$\int \rho v dA = 0 \quad (3.4)$$

$$\int \rho v v \cdot dA = - \int p I dA + \int \tau dA + \int F dV \quad (3.5)$$

dimana  $\tau$  adalah tensor tegangan, dan  $F$  adalah vektor gaya.

#### 3.5.1 Diskretisasi Persamaan Momentum

Skema diskretisasi yang dijelaskan pada subbab 3.4 di atas untuk persamaan transpor juga digunakan untuk mendiskretisasikan persamaan-persamaan momentum. Sebagai contoh, persamaan momentum  $x$  dapat diperoleh dengan mengganti  $\phi = u$ .

$$\bar{a}_e u_e = \sum a_{nb} \phi_{nb} + A_e (P_p - P_e) + b_e \quad (3.6)$$

Begitu juga dengan persamaan momentum  $y$ :

$$\bar{a}_n v_n = \sum a_{nb} \phi_{nb} + A_n (P_p - P_n) + b_n \quad (3.7)$$

Jika medan tekanan dan fluks massa diketahui, persamaan (3.6) dapat dipecahkan dengan cara seperti yang dijelaskan pada subbab 3.4, sehingga medan kecepatan dapat

diperoleh. Meskipun demikian, medan tekanan dan fluks massa tidak diketahui secara pasti dan harus diperoleh sebagai bagian dari solusi.

FLUENT menggunakan skema *co-located*, yang mana tekanan dan kecepatan disimpan pada pusat-pusat sel. Meskipun demikian persamaan (3.6) memerlukan nilai tekanan pada sisi antara sel-sel  $c_0$  dan  $c_1$  seperti pada gambar 3.1. Oleh karena itu skema interpolasi diperlukan untuk menghitung nilai-nilai sisi tekanan dari nilai-nilai sel.

### 3.5.2 Diskretisasi Persamaan Kontinuitas

Persamaan 3.6 dapat diintegrasikan untuk seluruh volume kendali sehingga dapat dihasilkan persamaan diskrit berikut ini:

$$\sum_f^{N_{force}} J_f \quad (3.8)$$

dimana  $J_f$  adalah laju alir massa yang melalui sisi  $f$ ,  $\rho v_n A_f$ . Dengan demikian,

$$\sum_f^{N_{force}} \rho v_n A_f \quad (3.9)$$

Persamaan momentum dan kontinuitas dalam FLUENT dipecahkan secara berurutan. Dalam prosedur ini, persamaan kontinuitas digunakan sebagai persamaan tekanan. Meskipun demikian, tekanan tidak tampak secara eksplisit dalam persamaan 3.7 untuk aliran inkompresibel, karena densitasnya tidak berhubungan secara langsung dengan tekanan. Algoritma SIMPLE (*Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations*) digunakan untuk memasukkan tekanan ke dalam persamaan kontinuitas.

Untuk proses lebih lanjut, perlu sekali menghubungkan nilai-nilai sisi kecepatan  $v_n$  terhadap nilai-nilai kecepatan yang disimpan pada pusat sel. Nilai sisi kecepatan  $v_n$  tidak dirata-rata secara linear, melainkan dengan perata-rataan berat momentum (*momentum-weighted averaging*) dimana faktor pemberat berdasarkan koefisien  $a_x$  dari persamaan 3.5 digunakan. Dengan menggunakan prosedur ini, laju alir  $J_f$  ditulis sebagai:

$$J_f = \hat{J}_f + d_f(p_{c0} - p_{c1}) \quad (3.10)$$

dimana  $p_{c0}$  dan  $p_{c1}$  adalah tekanan pada dua sel yang bersebelahan, dan  $\hat{J}_f$  mengandung pengaruh kecepatan dalam sel-sel ini. Istilah  $d_f$  ditulis sebagai:

$$d_f = \frac{\rho A_f^2}{\bar{a}_x} \quad (3.11)$$

dimana  $\bar{a}_x$  adalah rata-rata koefisien  $a_x$  persamaan momentum untuk sel-sel pada sisi  $f$ .

### 3.5.3 Pressure-Velocity Coupling

- *SIMPLE*

Algoritma SIMPLE menggunakan suatu hubungan antara koreksi kecepatan dan tekanan untuk menyelesaikan persamaan kekekalan massa dan untuk memperoleh medan tekanan.

Jika persamaan momentum dipecahkan dengan menggunakan medan tebakan  $p^*$ , maka kecepatan  $u^*$  dan  $v^*$  memenuhi:

$$\bar{a}_e u_e^* = \sum a_{nb} u_{nb} + A_e (P_p^* - P_e^*) + b_e \quad (3.12)$$

$$\bar{a}_n v_n^* = \sum a_{nb} v_{nb} + A_n (P_p^* - P_n^*) + b_n \quad (3.13)$$

Jika persamaan 3.12 dan persamaan 3.13 dikurangkan terhadap persamaan 3.12 dan persamaan 3.13, persamaan koreksi kecepatan ( $u'$ ,  $v'$ ) diperoleh:

$$\bar{a}_e u_e' = \sum a_{nb} u_{nb}' + A_e (P_p' - P_e') \quad (3.14)$$

$$\bar{a}_n v_n' = \sum a_{nb} v_{nb}' + A_n (P_p' - P_n') \quad (3.15)$$

dimana

$$u' = u - u^* \quad v' = v - v^* \quad p' = p - p^* \quad (3.16)$$

Dalam algoritma SIMPLE, persamaan koreksi kecepatan diperoleh dengan mencoret suku  $\sum a_{nb} u'_{nb}$  dan  $\sum a_{nb} v'_{nb}$  pada ruas kanan persamaan 3.14 dan persamaan 3.15, sehingga diperoleh:

$$u_e = u_e^* + d_e(p'_p - p'_e) \quad v_n = v_n^* + d_n(p'_p - p'_n) \quad (3.17)$$

dimana

$$d_e = \frac{A_e}{a_e} \quad d_n = \frac{A_n}{a_n} \quad (3.18)$$

Persamaan 3.17 menunjukkan bagaimana kecepatan bereaksi terhadap koreksi tekanan. Persamaan koreksi tekanan dikembangkan dari persamaan kontinuitas sehingga kecepatan terkoreksi memenuhi batasan kontinuitas. Untuk memperoleh persamaan koreksi tekanan, persamaan 3.17 disubstitusikan ke dalam persamaan kontinuitas terdiskretisasi untuk volume kendali di sekitar titik grid utama:

$$\rho_e u_e A_e - \rho_w u_w A_w + \rho_n u_n A_n - \rho_s u_s A_s \quad (3.19)$$

Dengan menggunakan persamaan kecepatan 3.17 dan memanipulasi persamaan 3.19 menghasilkan suatu persamaan koreksi tekanan:

$$a_p p'_p = a_e p'_e + a_w p'_w + a_n p'_n + a_s p'_s + b \quad (3.20)$$

dimana

$$\begin{aligned} a_e &= \rho_e A_e d_e & a_w &= \rho_w A_w d_w & a_n &= \rho_n A_n d_n & a_s &= \rho_s A_s d_s \\ a_p &= a_e + a_w + a_n + a_s \\ b &= \rho_w u_w^* A_w - \rho_e u_e^* A_e + \rho_s u_s^* A_s - \rho_n u_n^* A_n \end{aligned}$$



Persamaan koreksi tekanan (persamaan 3.20) dapat dipecahkan dengan menggunakan metode multigrid aljabar. Pada saat solusi diperoleh, tekanan sel dan laju alir sisi dikoreksi dengan menggunakan:

$$p = p^* + \alpha_p p' \quad (3.21)$$

$$J_f = J_f^* + d_f (p'_{c0} - p'_{c1}) \quad (3.22)$$

dimana  $\alpha_p$  adalah faktor *under-relaxation* untuk tekanan (*pressure*). Laju alir sisi terkoreksi,  $J$  akan memenuhi persamaan kontinuitas diskrit pada tiap iterasinya.

Algoritma SIMPLE terdiri dari beberapa tahap sebagai berikut:

1. Menaksir medan tekanan,  $p^*$ .
2. Memecahkan persamaan momentum (persamaan 3.12 dan persamaan 3.13) untuk memperoleh  $u^*$  dan  $v^*$ .
3. Memecahkan persamaan koreksi tekanan dan meng-*update* tekanan dengan  $p = p^* + \alpha p'$ , dimana  $\alpha$  adalah faktor *under-relaxation*.
4. Meng-*update* kecepatan  $u$  dan  $v$  dengan menggunakan persamaan koreksi kecepatan (persamaan 3.16)
5. Mengulangi tahap nomor dua dan tiga sampai konvergensi diperoleh.

### 3.6 Diskretisasi Waktu (*Temporal Discretization*)

FLUENT dapat memecahkan persamaan-persamaan kekekalan massa, momentum, energi, dan besaran-besaran skalar lain dalam bentuk ketergantungan-waktu (*time-dependent*). Persamaan ini didiskretisasikan dalam ruang dan waktu. Diskretisasi ruang (*spatial discretization*) untuk persamaan yang tergantung-waktu identik dengan kasus keadaan *steady*. Diskretisasi waktu melibatkan integrasi setiap suku dalam persamaan diferensial melalui suatu selang waktu,  $\Delta t$ .

Persamaan umum untuk evolusi waktu pada suatu variabel  $\phi$  diberikan oleh:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = F(\phi) \quad (3.23)$$

dimana fungsi  $F$  menunjukkan diskretisasi ruang. Jika turunan waktu didiskretisasikan dengan menggunakan *backward differences*, diskretisasi waktu keakuratan orde pertama diberikan:

$$\frac{\phi^{n+1} - \phi^n}{\Delta t} = F(\phi) \quad (3.24)$$

dan diskretisasi orde kedua diberikan oleh:

$$\frac{3\phi^{n+1} - 4\phi^n + \phi^{n-1}}{2\Delta t} \quad (3.25)$$

dimana

$\phi$  = besaran skalar

$n + 1$  = nilai pada tingkat waktu berikutnya,  $t + \Delta t$

$n$  = nilai waktu saat ini,  $t$

$n - 1$  = nilai pada tingkat waktu sebelumnya,  $t - \Delta t$

### 3.6.1 Integrasi Waktu Implisit

Satu metode untuk mengevaluasi  $F(\phi)$  pada tingkatan waktu berikutnya adalah:

$$\frac{\phi^{n+1} - \phi^n}{\Delta t} = F(\phi^{n+1}) \quad (3.26)$$

Persamaan ini disebut sebagai integrasi “*implicit*” karena  $\phi^{n+1}$  pada suatu sel dikaitkan dengan  $\phi^{n+1}$  pada sel-sel tetangga melalui  $F(\phi^{n+1})$ :

$$\phi^{n+1} = \phi^n + \Delta t F(\phi^{n+1}) \quad (3.27)$$

Persamaan *implicit* dapat dipecahkan secara iterasi dengan menaksir  $\phi^i$  sampai  $\phi^n$  dan mengiterasi persamaan 3.28 berikut ini

$$\phi^i = \phi^n + \Delta t F(\phi^i) \quad (3.28)$$

untuk formulasi *implicit* orde pertama, atau dengan:

$$\phi^i = 4/3\phi^n - 1/3\phi^{n-1} + 2/3\Delta t F(\phi^i) \quad (3.29)$$

untuk formulasi *implicit* orde kedua, sampai  $\phi^i$  berhenti berubah. Pada titik tersebut,  $\phi^{n+1}$  sama dengan  $\phi^i$ .

### 3.6.2 Integrasi Waktu Eksplisit

Metode kedua adalah integrasi waktu eksplisit dan disediakan apabila *coupled explicit solver* dipilih. Metode ini mengevaluasi  $F(\phi)$  pada tingkat waktu saat ini:

$$\frac{\phi^{n+1} - \phi^n}{\Delta t} = F(\phi^n) \quad (3.30)$$

Dan disebut sebagai integrasi eksplisit karena  $\phi^{n+1}$  dinyatakan secara eksplisit dengan suku nilai solusi yang ada,  $\phi^n$ :

$$\phi^{n+1} = \phi^n + \Delta t F(\phi^n)$$

## 3.7 Model Turbulen (*Turbulence Model*)

Aliran turbulen adalah suatu karakteristik yang terjadi karena adanya peningkatan kecepatan aliran. Peningkatan ini mengakibatkan perubahan momentum, energi, dan massa tentunya. Karena terlalu mahal untuk melakukan analisa secara langsung dari aliran turbulen yang memiliki skala kecil dengan frekuensi yang tinggi, maka diperlukan manipulasi agar menjadi lebih mudah dan murah. Salah satunya adalah dengan pemodelan turbulen (*turbulence model*). Meskipun demikian, modifikasi

persamaan yang meliputi penambahan variabel yang tidak diketahui, dan pemodelan turbulen perlu untuk menentukan variabel yang diketahui.

FLUENT sendiri menyediakan beberapa pemodelan, diantaranya adalah  $k-\varepsilon$  dan  $k-\omega$ .

### 3.7.1 Pemodelan $k$ -epsilon ( $k-\varepsilon$ )

#### 1. *Standard*

Model ini merupakan model turbulensi semi empiris yang lengkap. Walaupun masih sederhana, memungkinkan untuk dua persamaan yaitu kecepatan turbulen (*turbulent velocity*) dan skala panjang (*length scale*) ditentukan secara bebas (*independent*). Model ini dikembangkan oleh Jones dan Launder. Kestabilan, ekonomis (dari segi komputansi), dan akurasi yang cukup memadai membuat model ini sering digunakan dalam simulasi fluida dan perpindahan panas.

#### 2. *RNG*

Model ini diturunkan dengan menggunakan metode statistik yang diteliti (teori renormalisasi kelompok). Model ini merupakan perbaikan dari metode  $k-\varepsilon$  *standard*, jadi bentuk persamaan yang digunakan sama. Perbaikan yang dimaksud meliputi:

- Model *RNG* memiliki besaran tambahan pada persamaan laju disipasi (*epsilon*), sehingga mampu meningkatkan akurasi untuk aliran yang terhalang secara tiba-tiba.
- Efek putaran pada turbulensi juga telah disediakan, sehingga meningkatkan akurasi untuk jenis aliran yang berputar (*swirl flow*)
- Menyediakan formulasi analitis untuk bilangan Prandtl turbulen, sementara model  $k-\varepsilon$  *standard* menggunakan nilai bilangan Prandtl yang ditentukan pengguna (konstan).
- Model *RNG* menyediakan formulasi untuk bilangan Reynold rendah, sedang model standar merupakan model untuk Reynold tinggi.

#### 3. *Realizable*

Merupakan model pengembangan yang relatif baru dan berbeda dengan model  $k-\varepsilon$  *standard* dalam dua hal, yaitu:

- Terdapat formulasi baru untuk memodelkan viskositas turbulen.

- Sebuah persamaan untuk dissipasi,  $\varepsilon$ , telah diturunkan dari persamaan yang digunakan untuk menghitung fluktuasi vortisitas rata-rata.

Istilah *realizable* memiliki arti bahwa model tersebut memenuhi beberapa batasan matematis pada bilangan Reynold, konsisten dengan bentuk fisik aliran turbulen. Kelebihannya adalah lebih akurat untuk memprediksi laju penyebaran fluida dari pancaran jet/nosel. Model ini memberikan performa yang bagus untuk aliran yang melibatkan putaran, lapisan batas yang memiliki gradien tekanan yang besar, separasi, dan sirkulasi.

### 3.8 Model Eulerian Multifasa

Untuk simulasi tugas sarjana ini, digunakan model eulerian multifase. Model ini adalah model multifase paling kompleks yang ada di Fluent, yaitu dengan memecahkan persamaan  $n$  momentum dan kontinuitas untuk setiap fasa yang digunakan. Pemecahan persamaan momentum dan kontinuitas ini tergantung dari tipe campuran fasa yang digunakan, apakah aliran granular (*fluid-solid*) atau aliran non granular (*fluid-fluid*). Kedua tipe ini sangat berbeda. Untuk aliran granular, sifat-sifat alirannya dapat diperoleh berdasarkan teori kinetik.

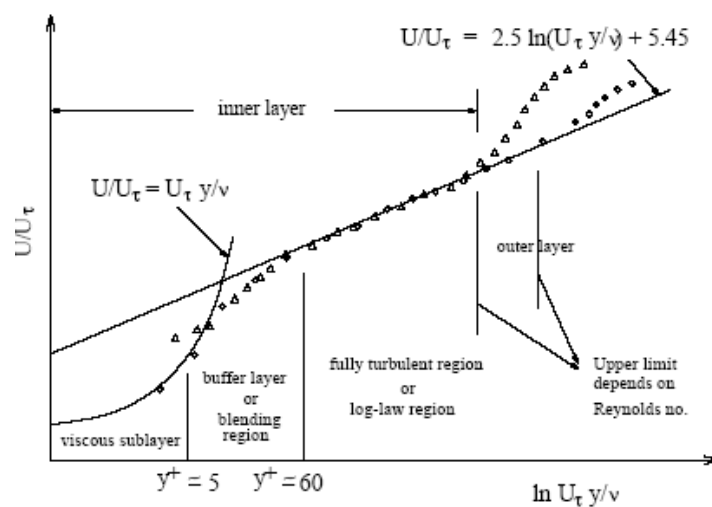
### 3.9 Perlakuan Dekat-Dinding

Aliran turbulen secara signifikan dipengaruhi oleh adanya dinding. Sedangkan medan kecepatan rata-rata dipengaruhi oleh kondisi tidak slip yang dipengaruhi oleh dinding.

Pemodelan dekat-dinding secara signifikan berdampak pada solusi numerik, karena dinding merupakan sumber utama vortisitas rata-rata dan turbulensi. Pada daerah dekat-dinding, variabel solusi berubah seiring dengan gradien yang besar. Begitu juga dengan momentum dan transpor skalar lainnya. Oleh karena itu, representasi aliran yang akurat dalam daerah dekat-dinding menentukan prediksi yang tepat untuk aliran turbulen yang dibatasi dinding.

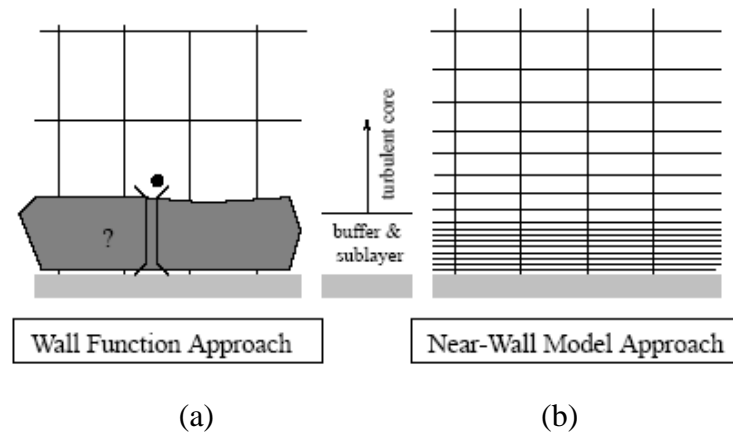
Eksperimen menunjukkan bahwa daerah dekat-dinding dapat dibagi ke dalam tiga lapisan. Lapisan yang paling dalam disebut dengan viscous sublayer, merupakan aliran yang hampir menyerupai aliran laminar, dimana viskositas molekulnya

memainkan peranan yang dominan baik dalam momentum maupun perpindahan massa. Dalam lapisan yang paling luar, disebut dengan lapisan turbulen penuh (*fully-turbulent layer*), turbulensi memainkan peranan penuh. Sedangkan lapisan diantara keduanya dimana efek viskos dan turbulensi sama-sama penting, disebut dengan lapisan *buffer* atau *blending region*. Gambar 3.4 menggambarkan tiga sub-pembagian daerah dekat-dinding yang diplot dalam koordinat semi-log.



Gambar 3.4 Sub-pembagian daerah dekat-dinding

Ada dua pendekatan untuk memodelkan daerah dekat-dinding. Pertama *wall-function* model yang merupakan formula semi-empirik. Dalam pendekatan ini, yang dipengaruhi viskositas (*viscosity-affected*), yaitu sublapisan viskos dan lapisan *buffer* tidak dipecahkan. Sebagai penggantinya, *wall-function* digunakan untuk menjembatani daerah yang dipengaruhi viskositas antara dinding dan daerah turbulen penuh. Dengan menggunakan fungsi dinding maka tidak perlu untuk memodifikasi model turbulensi untuk menghitung pengaruh dinding. Kedua, pendekatan *near-wall modeling*. Model turbulensi dimodifikasi untuk memungkinkan daerah *viscosity-affected* dipecahkan dengan suatu *mesh* sampai ke dinding, yang melibatkan sublapisan viskos.



Gambar 3.5 Perlakuan dekat-dinding (a) pendekatan fungsi dinding; (b) Pendekatan model dekat-dinding (*two-layer zonal model*)

- Standard *Wall-Function*

Hukum-dinding atau *law-of-the-wall* untuk kecepatan rata-rata menghasilkan:

$$U^* = \frac{1}{\kappa} \ln(Ey^*) \quad (3.31)$$

dimana

$$U^* = \frac{U_p C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}}{\tau_w / \rho} \quad (3.32)$$

$$y^* = \frac{\rho C_\mu^{1/4} k_p^{1/2} y_p}{\mu} \quad (3.33)$$

dan

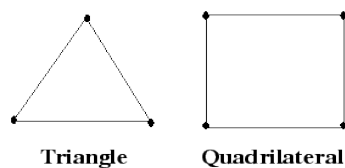
- $\kappa$  = konstanta von Karman (=0.42)
- $E$  = konstanta empiris (=9.81)
- $U_p$  = kecepatan rata-rata aliran pada titik p
- $k_p$  = energi kinetik turbulen pada titik p
- $y_p$  = jarak dari titik p ke dinding

$\mu$  = viskositas dinamik fluida

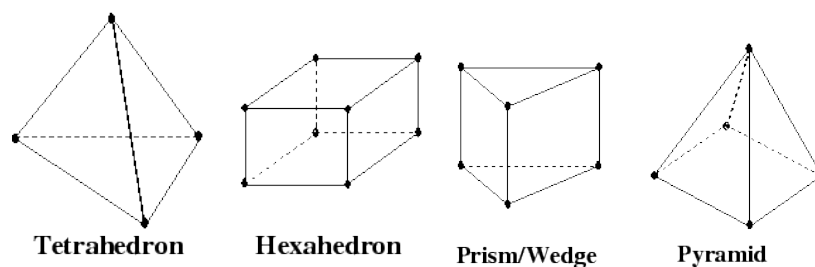
Hukum logaritmik untuk kecepatan rata-rata diketahui valid untuk  $y^* > 30$  sampai dengan 60.

### 3.10 Jenis Grid

FLUENT dapat memecahkan banyak kasus dengan berbagai jenis dan bentuk grid, misalnya grid jenis O, grid dengan dinding ketebalan nol, grid jenis C, grid terstruktur-blok konformal, grid terstruktur *multiblock*, grid nonkonformal, grid segitiga (*triangular*) tak terstruktur, grid *tetrahedral*, grid persegi (*quadrilateral*), dan grid *hexahedral*. Semakin kecil ukuran grid yang dipakai, semakin teliti hasil yang akan didapatkan. Namun untuk itu dibutuhkan waktu yang relatif lama untuk proses iterasinya. Gambar 3.6 dan gambar 3.7 merupakan berbagai tipe sel grid pada 2D dan 3D.



Gambar 3.6 Tipe sel 2D



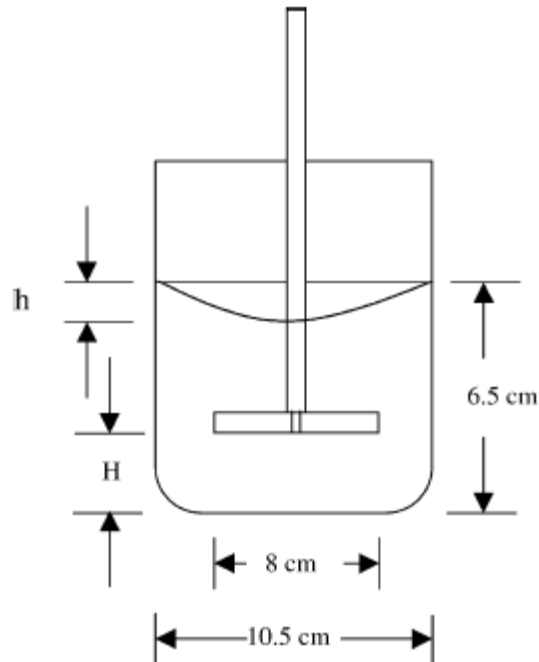
Gambar 3.7 Tipe sel 3D

### 3.11 Pemodelan *Stir Casting* dalam Fluent

Pemodelan *stir casting* dilakukan dalam 2D. Dapur peleburan memiliki diameter 105 mm. Dapur peleburan diisi penuh dengan aluminium dan SiC sampai ketinggian 65



mm. *Blade* memiliki diameter 80 mm dengan lebar 10 mm. Jarak antara *blade* dengan dasar dari dapur peleburan adalah 20 mm.



Gambar 3.8 Model dapur peleburan *stir casting* [15]

### 3.12 Proses Simulasi *Stir Casting*

Proses simulasi dalam tugas sarjana ini secara umum terbagi dalam beberapa langkah, yaitu *preprocessing*, *solving* dan *postprocessing*.

#### 1. *Preprocessing*

Tahapan ini merupakan tahapan awal dalam melakukan proses analisa dengan menggunakan CFD. Dalam tahapan ini digunakan GAMBIT 2.3.16 untuk menggambar pemodelan benda dan pengenerasian *mesh*.

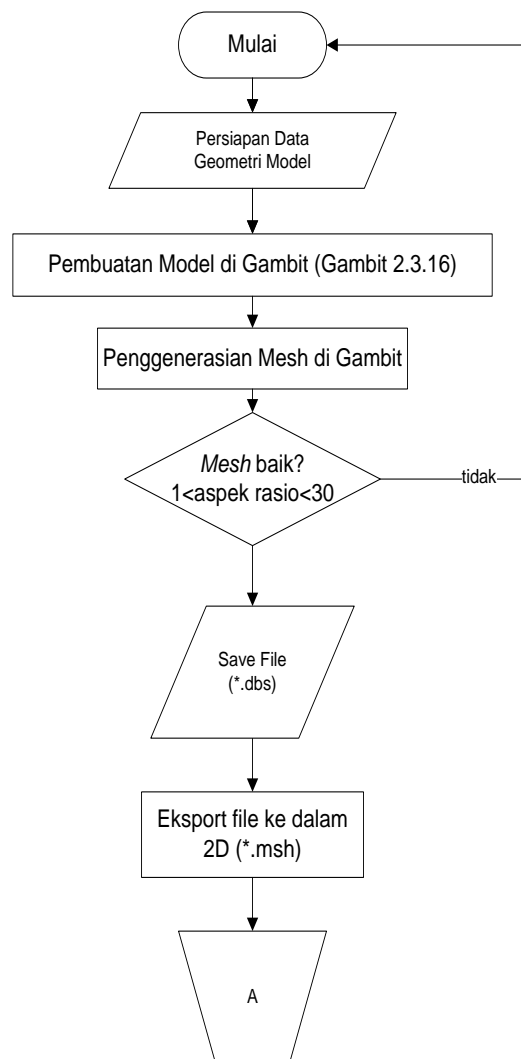
#### 2. *Solving*

Merupakan tahap utama dari simulasi dengan CFD, yaitu dengan melakukan iterasi atau perhitungan dari kondisi-kondisi batas yang telah ditentukan dalam tahap *preprocessing*.

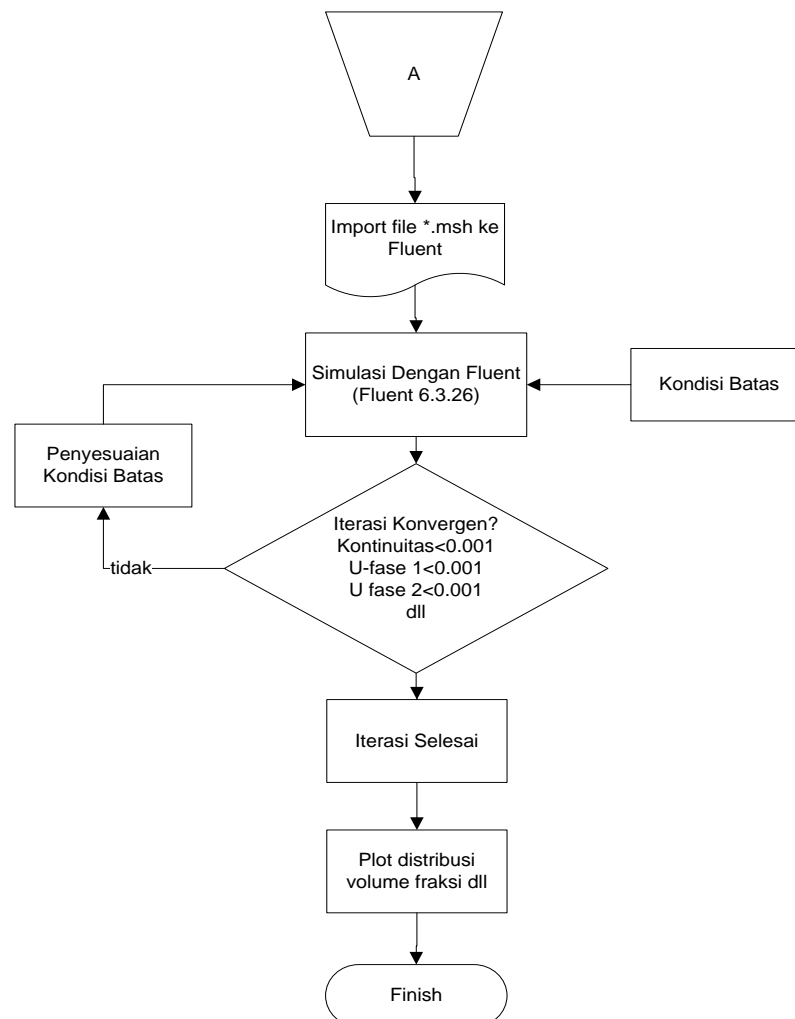
### 3. *Post processing*

Tahapan akhir dari simulasi CFD adalah mengolah dan menginterpretasikan hasil yang telah diperoleh berupa gambar dan grafik.

Diagram alir proses simulasi *stir casting* dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 3.9 Diagram alir simulasi *stir casting* 1



Gambar 3.10 Diagram alir simulasi *stir casting* 1

### 3.13 Simulasi *Stir Casting*

#### 3.13.1 Model Komputasi

Dalam simulasi *stir casting* ini menggunakan model transien axisimetris. Model *multiphase granular eulerian* dipilih untuk mendefinisikan ada dua fase yang berbeda dalam simulasi, yaitu cairan dan partikel (*solid*). Model ini juga biasa digunakan pada proses *mixing* dan pemisahan untuk mencari nilai fraksi volume dari masing-masing fase.

Model turbulen standard  $k-\varepsilon$  ( $k$ - $\varepsilon$ ) digunakan untuk percobaan awal dan pemeriksaan bilangan Reynold. Model ini merupakan model turbulensi semi empiris

yang lengkap. Dalam simulasi fluida, model  $k-\varepsilon$  sering digunakan walaupun sederhana.

### 3.13.2 Langkah-langkah Pengerjaan

Langkah-langkah pengerjaan simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yaitu sebagai berikut:

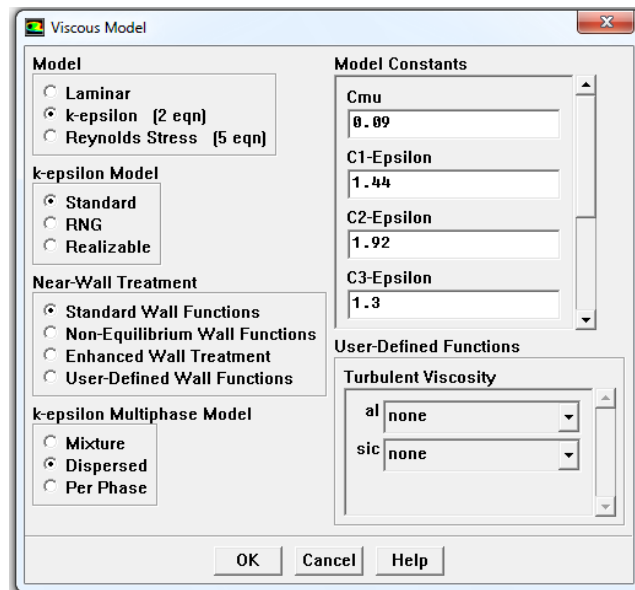
#### 1. GAMBIT

Gambit digunakan sebagai sarana bantu untuk membuat geometri sistem, jenis kondisi batas yang akan diterapkan, serta grid komputasi. Dari sini dapat dihasilkan suatu domain komputasi yang selanjutnya diekspor ke FLUENT.

#### 2. FLUENT 6.3.26

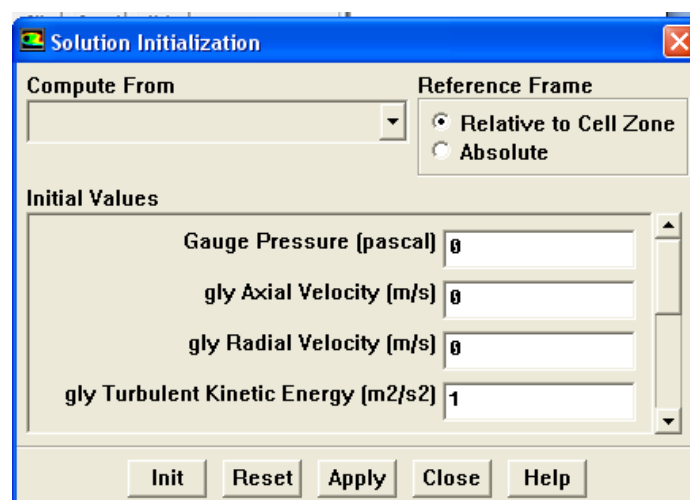
FLUENT digunakan sebagai sarana bantu untuk memodelkan aliran pada domain komputasi yang telah dibuat di GAMBIT. Ada beberapa tahapan pengerjaan dalam FLUENT untuk simulasi:

- a. Melakukan *import* file dari GAMBIT yang berupa domain komputasi.
- b. Melakukan pengecekan grid.
- c. Melakukan pengaturan skala grid jika perlu.
- d. Menentukan formulasi *solver* dan model fisik permasalahan (persamaan dasar).  
Disini dipilih *solver pressure based*, ini dikarenakan tidak berubahnya densitas selama proses pengadukan terjadi. Model aliran axisymmetric transient. Untuk jenis alirannya, digunakan model turbulen  $k-\varepsilon$  dengan standard wall functions.



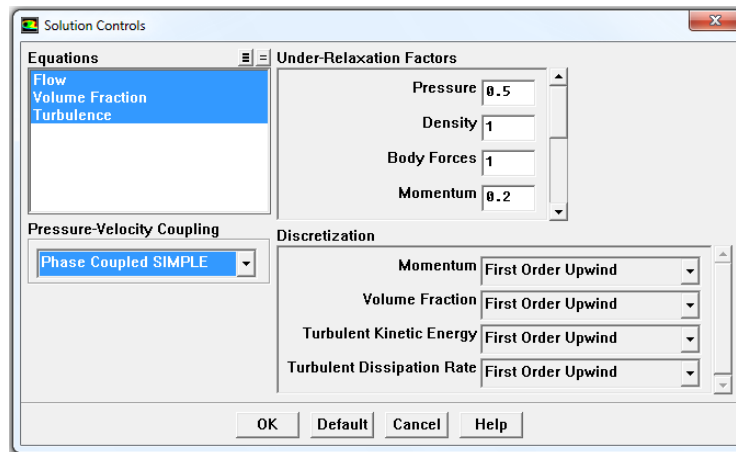
Gambar 3.11 Panel pemodelan aliran

- e. Menentukan jenis dan sifat fluida.
- f. Menentukan kondisi batas dari model yang dibuat.
- g. Menentukan parameter kendali solusi (*solution controls*).
- h. Melakukan tebakan awal (*initialize*) medan aliran. Tebakan awal dipakai yang sudah ada di Fluent (*default*), yaitu dengan nilai fase pertama untuk kecepatan axial dan kecepatan radial 0, energi kinetik turbulen dan energi dissipasi untuk fase pertama bernilai 1.



Gambar 3.12 Panel solusi awal

- i. Melakukan proses iterasi.
- j. Melakukan *postprocessing* dengan menampilkan grafik dan gambar kontur yang diinginkan. Grafik dan gambar ini dapat diperbandingkan dengan data literatur untuk mengukur keakuratan hasil numerik.

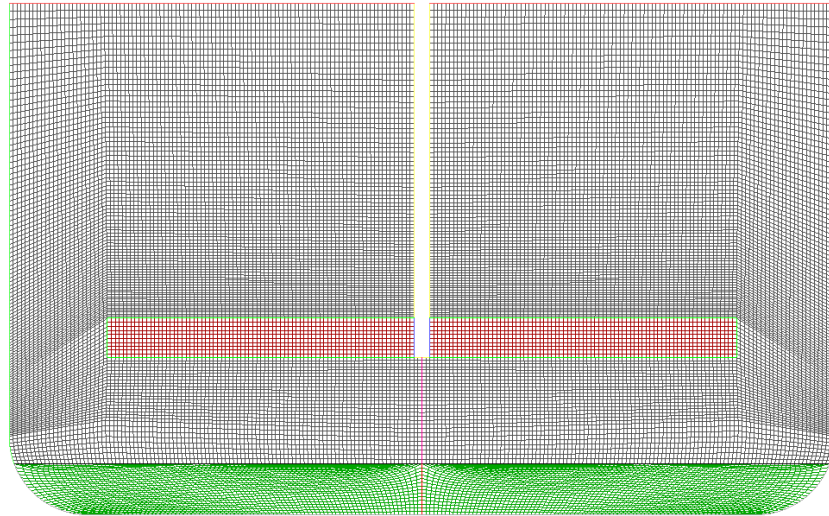


Gambar 3.13 Panel solusi kendali (*solution controls*)

### 3.13.3 Keterangan Pengerjaan Simulasi *Stir Casting*

#### 1. Pembuatan Grid

Daerah asal untuk kasus *stir casting* termasuk geometri yang relatif sederhana, sehingga grid yang dipakai adalah jenis persegi (*quadrilateral*). Jenis grid ini dapat mengurangi waktu komputasi dibandingkan dengan jenis segitiga (*triangular*), serta menambah keakuratan hasil simulasi. Adapun simulasi pengadukan ini digunakan jenis grid persegi yang terstruktur seperti gambar 4.6:



Gambar 3.14 Grid Persegi terstruktur untuk *mesh* daerah domain.

## 2. Jenis dan sifat fluida

Model komputasional terdiri atas model dua fase. Fase yang pertama adalah air atau glycerol/campuran air dan fasa yang kedua adalah partikel SiC. Viskositas aluminium diteliti beberapa orang sebagai fluida Newtonian, sama seperti air, yaitu 1 mPa s. Pada keadaan *semi-solid*, terukur bahwa viskositas aluminium berkisar pada nilai 300 mPa s. Nilai ini dapat diidentikkan dengan glycerol. Berikut adalah sifat-sifat fluida yang dipakai pada model komputasional:

Tabel 3.1 Data sifat fluida Glycerol

Nama Material	Glycerin
Kerapatan Fluida, $\rho$	1259.9 kg/m <sup>3</sup>
Viskositas, $\mu$	0.3 kg/m-s

Tabel 3.2 Data sifat material SiC

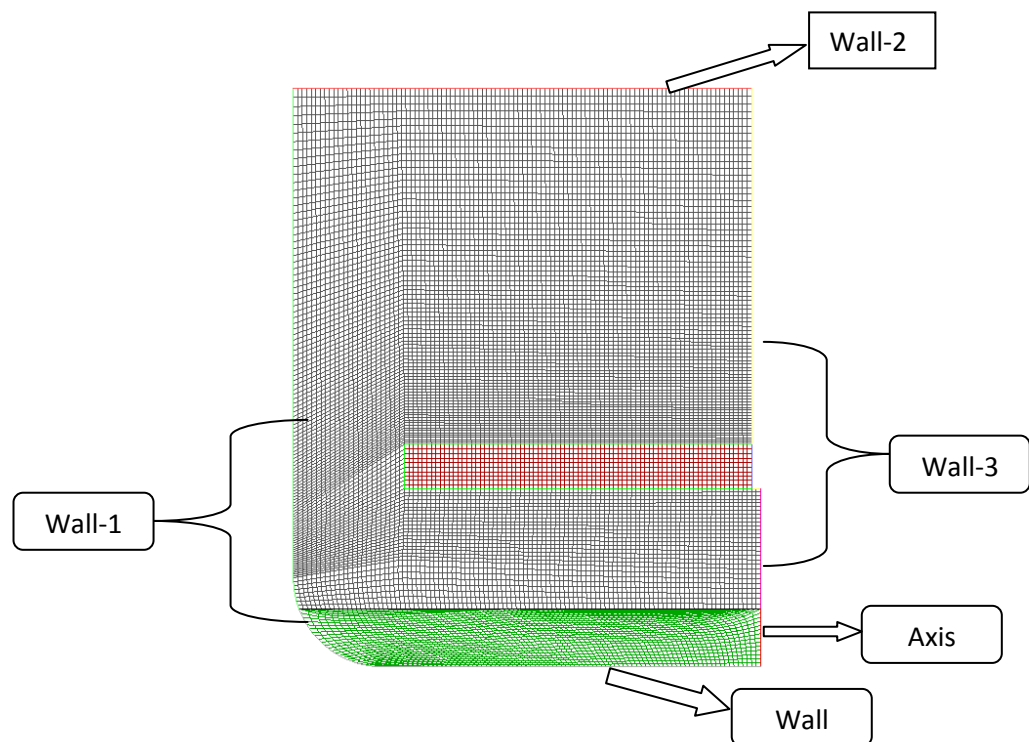
Nama Material	Silikon carbide (SiC)
Kerapatan Fluida, $\rho$	3170 kg/m <sup>3</sup>
Viskositas, $\mu$	1.72 x 10 <sup>-5</sup> kg/m-s

Tabel 3.3 Data sifat fluida air

Nama Material	Air
Kerapatan Fluida, $\rho$	1000 kg/m <sup>3</sup>
Viskositas, $\mu$	0.1003 Kg/m-s

### 3. Kondisi Batas

Pada simulasi *stir casting* ini, semuanya diterapkan dalam keadaan *stationary wall*. Semua sisi tangki, diasumsikan dengan kondisi batas *wall*. Hanya pada bagian tengah, dikondisikan sebagai *axis*.

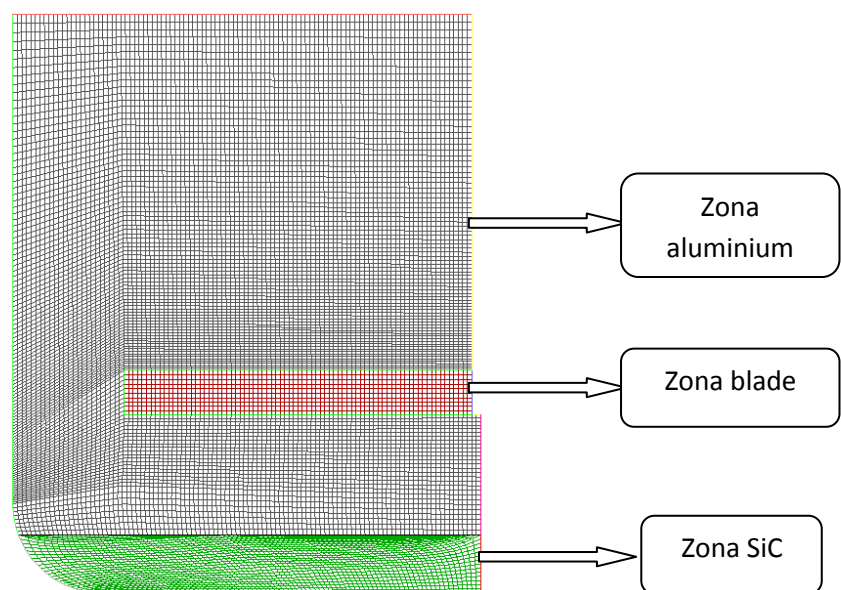


Gambar 3.15 Kondisi Batas untuk daerah asal

Kecepatan putar *blade* akan divariasikan antara 100 rpm sampai dengan 600 rpm dengan interval 100 rpm. Dengan kecepatan putar yang divariasikan, akan terlihat perbedaan *contour* volume fraksi SiC yang terjadi, dan akan dapat diketahui pengaruh kecepatan putar terhadap persebaran SiC.



Untuk mendefinisikan fluida, daerah asal dibagi menjadi 3 *cell zone*, yaitu zona Aluminium, zona SiC dan zona *blade*. Ketiga zona ini diasumsikan memiliki fasa cair. Zona SiC memiliki ketinggian 0.65 cm dari dasar dapur peleburan (10% dari keseluruhan aluminium). Zona *blade* (zona yang berputar) memiliki jarak 20 mm dari dasar dapur peleburan. Sedangkan tinggi keseluruhan dari zona aluminium adalah 6.5 cm dengan diameter dapur peleburan 10.5 cm.



Gambar 3.16 *Cell Zone* pada daerah asal

#### 4. Simulasi Model Turbulensi

Untuk semua variasi opsi dilakukan keseragaman pendekatan numerik. Simulasi untuk model turbulensi dilakukan dengan menggunakan *under-relaxation factor* (URF) Adapun faktor *under-relaxation* adalah sebagai berikut:

- |                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| a. <i>Pressure</i> (Tekanan)        | : 0.5 |
| b. <i>Momentum</i>                  | : 0.2 |
| c. <i>Density</i>                   | : 1   |
| d. <i>Body force</i>                | : 1   |
| e. <i>Turbulence Kinetic Energy</i> | : 0.8 |

- f. *Turbulence Dissipation Rate* : 0.8
- g. *Turbulence Viscosity* : 0.8

#### 5. Simulasi *Control Solution*

Simulasi *control solution* dilakukan dengan menggunakan model  $k-\varepsilon$  standar dengan input sebagai berikut:

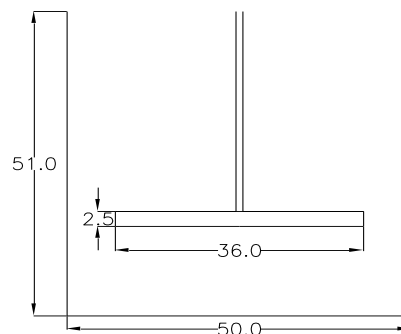
1. Kriteria konvergensi sebesar 0.001
2. Masukkan *time step size (s)* 0.01
3. *Under-relaxation factor* untuk variabel seperti yang dijelaskan subbab 4.3.3.4.
4. Tebakan awal untuk semua solusi *fluid property* mengikuti FLUENT *default*.
5. Masukkan *number of time step* dengan nilai 30000 dan 60000

#### 3.13.4 Variasi Dalam Pemodelan

Dalam pemodelan *stir casting*, ada beberapa variabel yang dapat divariasikan untuk mendapatkan optimasi pencampuran antara aluminium dan SiC yang baik, yaitu:

1. Viskositas antara air dan glycerol (1 mPa s dan 300 mPa s)
2. Kecepatan putar *blade* (100, 200, 300, 400, 500, dan 600 rpm)
3. Lama Pengadukan (5 dan 10 menit)

Untuk geometri dapur peleburan PT. NEVA, memiliki diameter 50 cm dan tinggi cairan aluminium 51 cm. Diameter blade 36 cm dengan lebar 2.5 cm. Jarak antara blade dengan dasar dapur peleburan adalah 15 cm. Berikut adalah skema dari dapur peleburan PT. NEVA:



Gambar 3.17 Skema dapur peleburan PT. NEVA