



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI NUMERIK KARAKTERISTIK ALIRAN
IRIGASI SALURAN AKAR GIGI MENGGUNAKAN
JARUM *OPEN-ENDED* TEKANAN POSITIF
SERTA TEKANAN NEGATIF**

Fajar Dwi Yudanto

NRP 2115 105 056

Dosen Pembimbing

Dr. Wawan Aries Widodo, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TM 141585

**NUMERICAL STUDY OF CHARACTERISTIC
IRRIGATION FLOW ON TOOTH USING NEEDLE
OPEN-ENDED TIP WITH PRESSURE POSITIVE
METHOD AND NEGATIVE PRESSURE METHOD**

FAJAR DWI YUDANTO

NRP. 2115 105 056

Academic Supervisor

Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT

Faculty of Industrial Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017

**STUDI NUMERIK KARAKTERISTIK ALIRAN
IRIGASI SALURAN AKAR GIGI MENGGUNAKAN
JARUM *OPEN-ENDED* TEKANAN POSITIF SERTA
TEKANAN NEGATIF**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FAJAR DWI YUDANTO

NRP. 2115 105 056

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T. (Pembimbing)
NIP. 197104051997021001
2. Vivien Suphandani, S.T., M.Eng., Ph.D. (Penguji I)
NIP. 198105292003122001
3. Ir. Nur Ikhwan, M.Eng.Sc. (Penguji II)
NIP. 196709151995121001
4. Dedy Zulhidayat Noor, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji III)
NIP. 197512062005011000

**SURABAYA
JULI, 2017**

STUDI NUMERIK KARAKTERISTIK ALIRAN IRIGASI SALURAN AKAR GIGI MENGGUNAKAN JARUM OPEN-ENDED TEKANAN POSITIF SERTA TEKANAN NEGATIF

Nama Mahasiswa : Fajar Dwi Yudanto
NRP : 2115105056
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

ABSTRAK

Pembersihan kerak gigi sangatlah penting dalam dunia medis sebagai fasilitas membersihkan bakteri, lapisan kerak, dan lain sebagainya. Pembersihan kerak gigi dapat dilakukan pada bagian saluran akar maupun luar. Pada saluran akar gigi, pembersihannya dilakukan dengan cara penyemprotan menggunakan NaOCl 2,5% selama 5x kemudian di bilas dengan *aquades* (H₂O). Penyemprotan dengan zat kimia tersebut bertujuan tidak hanya untuk mematikan bakteri tetapi juga melarutkan jaringan organik dan anorganik di daerah kontak langsung. Tindakan mekanis cairan lebih efektif pada campuran irigasi dalam lumen kanal, penghapusan biofilm perekat dan penghapusan lapisan smear di dinding kanal.

Penelitian dilakukan secara numerik menggunakan perangkat lunak CFD komersial, dengan model *laminar flow*. Aliran fluida bersifat *incompressible flow*, *viscous*, serta *steady flow*. Model uji berupa jarum yang dimasukkan kedalam *cone* dengan kedalaman bervariasi. Model *cone* berdimensi 0.45 mm pada bagian bawah dan *tapper* 7%. Selain itu, bentuk jarum yang digunakan adalah jarum *open ended* baik dengan metode tekanan positif maupun yang tekanan negatif. Pada metode tekanan positif menggunakan jarum dengan diameter dalam 0.196 mm dan panjang 25 mm, sedangkan pada metode tekanan negatif

menggunakan jarum dengan panjang 20 mm dengan diameter 0.196 mm. Setiap jarum diberikan *flowrate* yaitu 0.2 mL/s atau dengan kecepatan 6.62 m/s untuk setiap metode. Selain itu, fluida yang digunakan sama yaitu NaOCl 2.5 % dengan densitas (ρ) 1060 kg/m³ dan viskositas (μ) 0.001 N/ms. Pengukuran dilakukan pada setiap keluaran dari jarum hingga ujung *apical* dan dari *apical* ke *outlet* saluran akar.

Dari hasil studi numerik yang dilakukan didapatkan hasil berupa visualisasi aliran seperti profil kecepatan, *pathlines* dan vektor kecepatan, kontur tekanan dinamis, dan tegangan geser dinding saluran akar. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi panjang saluran akar dan perbedaan metode menghasilkan pola aliran yang sama. Hal ini dikarenakan jarum yang digunakan dengan desain yang sama. Kedua pola aliran dari kedua metode akan selalu sampai ke dasar saluran akar atau apikal, tetapi pada metode tekanan positif memiliki kecepatan, tekanan dinamis, dan tegangan geser yang lebih besar di area dasar saluran akar daripada metode tekanan negatif. Hal ini dapat mengakibatkan kecelakaan pada irigasi saluran akar karena kecepatan aliran dan tekanan dinamis pada apikal sangat besar. Sedangkan pada metode tekanan negatif lebih aman karena kecepatan dan tekanan dinamis pada apikal kecil, akan tetapi sudah memenuhi syarat terjadinya pertukaran irigan atau pengangkatan debris pada dasar saluran akar. Pada metode tekanan negatif dengan variasi panjang saluran akar 20.5 mm dan 22.5 mm akan tetap sampai ke dasar saluran akar, akan tetapi hal tersebut akan mempengaruhi distribusi kecepatannya. Distribusi kecepatan yang didapatkan akan menurun seiring dengan variasi panjang saluran akarnya karena jarak antara ujung saluran akar dan ujung jarum semakin jauh. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode tekanan negatif lebih aman daripada metode tekanan positif jika menggunakan jarum yang sama. Selain itu, kedua metode akan selalu sampai ke dasar saluran akar atau apikal.

Kata kunci : CFD, Tekanan Positif, Tekanan Negatif, Saluran Akar, Open Ended

NUMERICAL STUDY OF CHARACTERISTIC IRRIGATION FLOW ON TOOTH USING NEEDLE OPEN-ENDED TIP WITH PRESSURE POSITIVE METHOD AND NEGATIVE PRESSURE METHOD

Nama of Student : Fajar Dwi Yudanto
NRP : 2115 105 056
Department : Mechanical Engineering
Counselor Lecturer : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T

ABSTRACT

Teeth and Gum treatment is very important thing in medical world as a cleanup bacteria, a smear layer, etc. Teeth and Gum Treatment can be worked on the root canal or outside canal. On the root canal treatment, cleaning worked by spraying using a 2.5% NaOCl for 5 times then rinse with aquades (H₂O). Spraying with chemicals purpose not only to turn off bacteria but also dissolve organic and inorganic network in the area of direct contact. The mechanical action of the liquid more effectively on a mixture of irrigation in the lumen of the Canal, removal of the smear layer of adhesive and removal biofilms on the wall of the Canal.

The study was numerically tested using commercial CFD software, with a laminar flow model. Fluid flow is incompressible flow, viscous, and steady flow. Model test in the form of a needle inserted into the cone with the depth varies. The root canal was simulated as a geometrical frustum of a cone with an apical diameter of 0.45 mm and 7% taper. In addition, The needle used is an open end needle with positive pressure and negative pressure methods. Positive pressure method using a needle with a inner diameter 0.192 mm and length 25 mm, while on negative pressure method using a needle length 20 mm with inner diameter 0.196 mm. Each needle is given a flowrate of 0.2

mL/s or with a speed of 6.62 m/s for each method. In addition, the same fluid used is NaOCl 2.5% with density (ρ) 1060 kg / m³ and viscosity (μ) 0.001 N / ms. Measurements are performed at each output from the needle to the apical end and from the apical to the root canal outlet.

The results of a numerical study obtain flow visualization such as velocity profile, pathlines and vectors of velocity, contours of dynamic pressure, and wall shear stress on root canal. These results shown that variations in root canal length and method differences produce the same flow pattern. This result can occur because the needles that are used with the same design. The flow patterns of both methods will always reach the bottom of the root canal or apical, but the positive pressure method has greater speed, dynamic pressure, and shear stress in the root canal base area than the negative pressure method. This condition caused an accidents because the velocity and dynamic pressure on apical is huge, While negative pressure method is safe because velocity and dynamic pressure in apical is smaller than positive pressure method, but it has fulfilled the requirement of removal of debris on the root canal. In negative pressure method with variation of root canal length 20.5 mm and 22.5 mm always reach the apical, but it will affect the velocity distribution. The velocity distribution will decrease along with the variation of the length of the root canal because the distance between the end of the root canal and the needle is further away. So it can be concluded that the negative pressure method is more secure than the positive pressure method if you use the same needle. In addition, both methods always reach apical.

Keyword: *CFD, positive pressure, negative pressure, root canal, Open Ended*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah yang telah memberikan limpahan rahmat dan kasih sayang-Nya, karena izin-Nya lah penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan tanpa adanya halangan yang cukup berarti. Dalam penyusunan tugas akhir ini tidak dapat dipungkiri ada begitu banyak dukungan dan bantuan yang diberikan dari berbagai pihak baik secara moril maupun materi. Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Kedua orang tua penulis yang mendukung penuh dan selalu mendoakan penulis setiap saat.
2. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah meluangkan waktu dan tenaga ditengah kesibukan, serta memberi motivasi dalam mengerjakan tugas akhir dan ilmu yang tak ternilai harganya.
3. Bapak Nur Ikhwan, S.T., M.T., Bapak Dedy Zulhidayat Noor, S.T., M.T., Ph.D., Ibu Vivien Suphandani Djanali, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu untuk menguji tugas akhir ini.
4. Saudara kandung penulis, Nur Apriyanto Nugroho dan Setyo Aji Nugroho yang selalu mendoakan penulis agar segera menyelesaikan masa studinya serta sebagai penyemangat.
5. Seluruh dosen dan karyawan yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang pernah memberikan ilmu kepada penulis.
6. Pak Dani selaku karyawan Lab. CAE yang selalu menemani penulis melakukan running program.
7. William Fernando, Abdillah Gigih Bimantoro, Elfandy Putra Nugraha, dan teman-teman penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang selalu menjadi teman seperjuangan dan partner tugas akhir ini.
8. Muhammad Aji Trianto, Imam Safei, Irfan Maulana, dan para teman-teman pejuang TOEFL yang telah berjuang bersama untuk mendapatkan 477.

9. Keluarga besar penulis di Yogyakarta maupun di Nganjuk yang selalu memberikan motivasi dan doa sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir.
10. Teman-teman lintas jalur 2015, terimakasih atas persahabatannya.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan terdapat kekurangan. Penulis mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan dimasa depan. Semoga tugas akhir ini bisa bermanfaat untuk kita semua. Amien.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Dasar Teori.....	7
2.1.1 <i>Root Canal Irrigation</i>	7
2.1.2 Klasifikasi Fluida.....	9
2.1.3 Aliran <i>Viscous</i> dan <i>Inviscid</i>	9
2.1.4 Newtonian dan Non-Newtonian <i>Fluid</i>	10
2.1.5 Aliran Laminar dan Turbulen.....	11
2.1.6 Incompressible Flow.....	13
2.1.7 Internal Flow.....	13
2.2 <i>Grid Independency Test</i>	14
2.3 Penelitian sebelumnya.....	15
2.3.1 Eksperimen metode tekanan negatif.....	17
2.3.2 Membandingkan metode tekanan positif, negatif, dan pasif ultrasonic dengan CFD.....	18
2.3.3 Penelitian numerik mengenai efek kedalaman dan perbedaan jarum pada pembersihan saluran akar	19
2.3.4 Tekanan pada irigasi saluran akar.....	21
2.3.5 Penghapusan <i>apical vapor lock</i> dengan memvariasikan debit dan posisi.....	23

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Geometri Benda Uji	25
3.2 Metode Numerik.....	27
3.2.1 Tahap Pre Processing.....	28
3.2.2 Tahap Post Processing	31
3.3 Langkah Penelitian	36
3.4 Analisa <i>Grid Independency</i>	36
3.5 Flowchart Penelitian	38
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Analisa Metode Tekanan Positif.....	42
4.1.1 Visualisasi Kontur dan Distribusi Kecepatan	42
4.1.2 Visualisasi Kontur dan Distribusi Tekanan Dinamis.....	48
4.1.3 Visualisasi Kontur dan Distribusi Tegangan Geser Dinding	52
4.2 Analisa Metode Tekanan Negatif.....	54
4.2.1 Visualisasi Kontur dan Distribusi Kecepatan	55
4.2.2 Visualisasi Kontur dan Distribusi Tekanan Dinamis.....	60
4.2.3 Visualisasi Kontur dan Distribusi Tegangan Geser Dinding	64
4.3 Perbandingan Metode Tekanan Positif dan Tekanan Negatif	66
4.3.1 Perbandingan Distribusi Kecepatan.....	66
4.3.2 Perbandingan Tekanan Dinamis	73
4.3.3 Perbandingan Tegangan Geser pada Dinding.....	76
4.3.4 Perbandingan nilai pada dasar saluran akar	79
BAB V PENUTUP	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	83
BIODATA PENULIS	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Pembersihan saluran akar gigi.....	1
Gambar 2.1	<i>Root canal Irrigation</i>	8
Gambar 2.2	Klasifikasi jenis fluida.....	9
Gambar 2.3	Skema Lapisan batas	10
Gambar 2.4	<i>Shear stress vs rate of shear strain</i>	11
Gambar 2.5	Aliran pada daerah masuk pipa	14
Gambar 2.6	Metode penelitian eksperimen aspirasi <i>intracanal</i>	17
Gambar 2.7	Bentuk geometri <i>cone</i> , hasil tegangan geser	19
Gambar 2.8	Hasil <i>velocity profile</i>	20
Gambar 2.9	Grafik kecepatan yang dihasilkan	20
Gambar 2.10	<i>Contour</i> tekanan dinamis	22
Gambar 2.11	Metode pemotongan dan hasil kontur kecepatan dari setiap potongan	22
Gambar 3.1	Permodelan saluran akar dengan jarum <i>open ended</i>	26
Gambar 3.2	<i>Meshing</i> benda uji	29
Gambar 3.3	<i>Boundary condition</i>	30
Gambar 3.4	Posisi pengambilan data.....	34
Gambar 3.5	Posisi pengambilan data menggunakan <i>line/rake</i> untuk data kuantitatif	35
Gambar 3.6	<i>Grid independency</i> kecepatan ditinjau pada $y=1\text{mm}$	37
Gambar 4.1	Kontur kecepatan dengan vektor dan <i>pathline</i>	44
Gambar 4.2	Kontur kecepatan setiap <i>section</i> dengan <i>iso surface</i> pada sumbu y	45
Gambar 4.3	Grafik distribusi kecepatan pada setiap saluran akar.....	47
Gambar 4.4	Visualisasi kontur tekanan dinamis pada metode tekanan positif	49
Gambar 4.5	Grafik tekanan dinamis pada setiap panjang saluran akar	50
Gambar 4.6	Visualisasi kontur tegangan geser yang terjadi	

	pada metode tekanan positif.....	52
Gambar 4.7	Grafik tegangan geser yang terjadi pada setiap saluran akar	53
Gambar 4.8	Kontur kecepatan dengan vektor dan <i>pathline</i> metode tekanan negatif.....	55
Gambar 4.9	Kontur kecepatan setiap <i>section</i> dengan <i>iso surface</i> pada sumbu y	56
Gambar 4.10	Grafik distribusi kecepatan pada metode tekanan negatif	58
Gambar 4.11	Visualisasi kontur tekanan dinamis pada metode tekanan negatif.....	61
Gambar 4.12	Grafik tekanan dinamis metode tekanan negatif .	62
Gambar 4.13	Visualisasi kontur tegangan geser pada metode tekanan negatif.....	64
Gambar 4.14	Grafik distribusi tegangan geser pada metode tekanan negatif.....	66
Gambar 4.15	Visualisasi distribusi kecepatan kedua metode ..	67
Gambar 4.16	Visualisasi kontur kecepatan setiap <i>section</i>	68
Gambar 4.17	Grafik distribusi kecepatan kedua metode	71
Gambar 4.18	Grafik distribusi kecepatan pada <i>outlet</i>	72
Gambar 4.19	Visualisasi kontur tekanan dinamis pada kedua metode.....	74
Gambar 4.20	Grafik distribusi tekanan dinamis pada kedua metode	75
Gambar 4.21	Visualisasi kontur tegangan geser pada kedua metode	77
Gambar 4.22	Distribusi tegangan geser pada kedua metode.....	78
Gambar 4.23	Korelasi tegangan geser dinding dengan kecepatan	79

DAFTAR TABEL

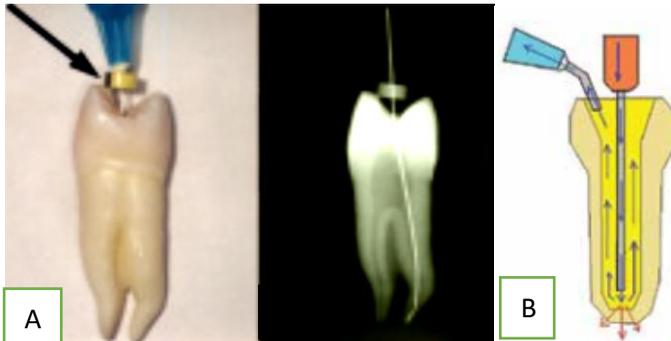
Tabel 2.2	Penelitian-penelitian sebelumnya.....	15
Tabel 3.1	Variasi kedalaman dan pengambilan data Tekanan Positif.....	33
Tabel 3.2	Variasi kedalaman dan pengambilan data Tekanan Negatif	34
Tabel 3.3	<i>Grid independency</i> ditinjau dari V_{avg} pada <i>cross section</i> $y= 1$ mm.....	37
Tabel 4.1	Perbandingan nilai yang terjadi pada daerah apikal ..	80

(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembersihan kerak sangatlah penting dalam dunia medis sebagai fasilitas membersihkan bakteri, lapisan kerak, dan lain sebagainya. Pembersihan kerak gigi dapat dilakukan pada bagian saluran akar maupun luar gigi. Pada saluran akar pembersihannya dilakukan dengan cara penyemprotan zat kimia (asam) kemudian dibilas dengan *aquades* (H_2O). Gambar sekematik pembersihan saluran akar gigi dapat diilustrasikan pada gambar 1.1. Penyemprotan dengan zat kimia tersebut bertujuan untuk mematikan bakteri serta melarutkan jaringan organik dan anorganik di daerah kontak langsung, sedangkan tindakan mekanis cairan lebih efektif membersihkan yang telah terinfeksi, mikroorganisme, debris, serbuk dentin di saluran akar. Metode pembersihan saluran akar ini dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu tekanan positif, tekanan negatif, dan ultrasonic. Metode-metode tersebut menggunakan banyak jenis disain jarum, seperti *open ended*, *side vented*, *multi vented*, *micro canulla*, dan lain sebagainya.



Gambar 1.1 Pembersihan saluran akar gigi pada poin a adalah aslinya (Ektefaie, 2005) dan poin b adalah skematik (Kurtzman, 2012)

Pada tekanan positif dengan jarum *open ended* pembersihan hanya dilakukan dengan cara disemprotkan saja pada bagian saluran akar dan dibiarkan meluber, sedangkan pada metode tekanan negatif terdapat beberapa langkah, yaitu penyemprotan dan penghisapan. Selain itu, perbedaannya banyak yang mengatakan bahwa metode tekanan negatif lebih efektif dalam pembersihan. Dalam hal ini dapat dijelaskan oleh metode komputasi fluida atau dengan CFD (*Computational Fluid Dynamic*).

Computational fluid dynamic (CFD) adalah suatu alat yang sangat berguna untuk mengetahui yang terjadi pada saluran akar dengan menggunakan model matematika dan simulasi komputer. Studi CFD telah banyak diterapkan untuk mempelajari aliran pola *irrigants* dalam sistem saluran akar. Kehandalan dari analisa CFD pada endodontik telah divalidasi dengan model saluran akar sehingga eksperimennya dapat dikombinasikan dengan kecepatan tinggi dan *velocimetry* analisis. Analisa CFD independen telah diterapkan untuk menguji pengaruh posisi jarum dan desain jarum untuk pembersihan saluran akar. Sebagian besar penelitian pada irigasi dinamika yang terkait dengan irigasi berbasis jarum suntik.

Dalam beberapa penelitian sebelumnya telah banyak yang menganalisa dengan menggunakan CFD mengenai yang terjadi pada saluran akar dengan metode tekanan positif, akan tetapi untuk metode tekanan negatif belum terdapat penelitian sebelumnya. Pada tekanan positif terdapat beberapa hal yang mempengaruhi sehingga aliran tidak bisa sampai ujung atau *apical*, salah satunya adalah adanya gelembung atau *apical vapor lock* yang terjadi pada saluran akar. Pada penelitian **Boutsioukis dkk (2013)**, penelitian yang dilakukannya mengenai pembentukan dan penghapusan *apical vapor lock* selama proses irigasi dengan gabungan eksperimen dan simulasi dengan hasil yang di dapatkan adalah dengan memvariasikan laju aliran (debit) dari 0.083 mL/s hingga 0.260 mL/s serta tanpa mengubah posisi dari jarum *open end* dapat mengeluarkan *apical vapor lock* yang ada. Pada debit yang rendah

apical vapor lock terlihat dan pada debit yang tinggi *apical vapor lock* dapat terangkat.

Selain itu, penelitian eksperimen dilakukan oleh **Fukamoto dkk (2004)** mengenai evaluasi teknik baru irigasi saluran akar dengan aspirasi *intracanal*. Fluida yang digunakan adalah 9mL dari 14 % *ethylenediaminetetraacetic acid* (EDTA) untuk 3 menit dan 6mL dari 6% *Sodium Hypochlorite* (NaOCl) untuk 2 menit serta laju alirannya adalah 3.0 mL/menit. Pada penelitian ini dibandingkan dengan beberapa grup yaitu grup konvensional dan tekanan negatif. Pada jarum negatif dengan ukuran (diameter luar 0.41 mm, diameter dalam 0.19 mm; Blunt, Nipro Co., Osaka, Japan) diletakkan pada 12 mm dari ujung *apical*. Untuk yang tekanan positif menggunakan jarum berukuran (diameter luar 0.55mm dan diameter dalam 0.3 mm) dan diletakkan pada 3 mm dari ujung apikal. Serta pada metode negatif diberikan tekanan hisap -20kPa, sedangkan pada tekanan positif tidak diberikan tekanan hisap. Dari eksperimen ini didapatkan hasil SEM menunjukkan bahwa penghapusan lapisan *smear* lebih efektif daripada menggunakan metode konvensional atau dengan cara tekanan positif.

Pada penelitian yang dilakukan oleh **Chen dkk (2013)** mengenai Dinamika irigasi dengan tekanan positif, tekanan negatif, dan *passive ultrasonic irrigations* menggunakan CFD. Pada penelitian ini pemodelannya adalah dengan *incompressible flow* Newtonian *fluid* dengan fluida yang digunakan adalah air dengan $\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$ dan $\mu = 1.0 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$ serta menggunakan *k- ω turbulence* sebagai pemodelannya. Debit yang digunakan adalah 0.15 mL/s. Panjang saluran akar yang digunakan adalah 18 mm dengan diameter 1.57 mm lubang dan 0.45 mm paling ujung dari *apical* atau *tapper* 6.2%. *Mesh* yang digunakan adalah 600 ribu elemen *hexahedral*. Kelompok 1 dengan jarum suntik *open ended* (lubang ujung) diameter luar 0.32 mm dan diameter dalam 0.196 mm. kelompok 2 dengan jarum *side vented* (lubang samping) dengan ukuran diameter sama dengan *open ended*, akan tetapi pemodelan lubang samping ini menggunakan ukuran 1 mm x 24

mm dan di posisikan pada 0.9 mm dari ujung jarum. kelompok 3 dengan jarum EndoVac tekanan negatif dengan *micro canulla* terdiri dari 12 *pattern* lubang yang diposisikan pada antara 0.2 dan 0.7 mm dari ujung jarum serta masing-masing lubang berdiameter 0.1 mm. dan kelompok 4 dengan metode *passive* dengan bantuan ultrasonic dengan bentuk jarum adalah persegi dengan panjang sisi adalah 0.2 mm. Pemosisian jarum di tempatkan pada jarak yang berbeda-beda untuk *open ended* dan *side vented* diposisikan pada 3 mm dari *apical*, untuk tekanan negatif di posisikan menempel hingga ujung *apical*, serta untuk ultrasonic di posisikan 1 mm dari ujung *apical*. dari penelitian ini di dapatkan bahwa jarum *side vented* mempunyai tegangan geser lebih besar dari *open ended* akan tetapi lebih kecil dari ultrasonic serta paling kecil tegangan geser adalah pada tekanan negatif dan pemosisian jarum *side vented* pada jarak 1 mm dari *apical* serta untuk *open ended* 2 mm dari *apical*.

Selain itu, penelitian **Kocharian (2010)** mengenai irigasi saluran akar- analisa dari segi teknik menggunakan CFD. Jarum yang digunakan adalah tipe *side vented* (lubang samping) dengan dimensi cone 0.45 mm pada bagian bawah atau *apical* dan 1.57 mm pada bagian atas. Penelitian ini memvariasikan debit dari 0.15 mL/s sampai 0.30 mL/s dan pemosisian jarum dari ujung *apical* yaitu 2 mm dan 3 mm dari ujung *apical* untuk mendapatkan kontur tekanan dinamis, wall shear stress, dan besarnya kecepatan di sepanjang saluran akar dengan pemosisian jarum yang berbeda juga. Hasil dari penelitiannya adalah perubahan debit irigasi dan pemosisian jarum mempengaruhi kecepatan, wall shear stress, dan tekanan dinamis.

1.2 Rumusan Masalah

Telah dijelaskan pada latar belakang bahwa pembersihan saluran akar gigi ada beberapa metode, yaitu dengan metode tekanan positif *open ended* dan metode tekanan negatif. Perbedaan antara keduanya juga telah disampaikan pada latar belakang bahwa

pembersihan saluran akar gigi dengan tekanan negatif lebih baik daripada pembersihan dengan metode tekanan positif *open ended*.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) sebagai alat untuk mempresentasikan karakteristik aliran yang melintasi jarum pada metode aliran tekanan positif dan tekanan negatif dengan memodelkan menggunakan computer. Pada simulasi CFD ini dapat dilihat *velocity profile*, *shear stress*, dan *pressure* di area pembersihan saluran akar.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan beberapa batasan yang berisi tentang variabel yang akan diteliti maupun variabel yang akan diasumsikan sehingga bahasan tidak melebar dari tujuan utama. Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini, yaitu :

1. Jarum yang digunakan adalah *open ended* untuk setiap metode
2. Debit 0,2 ml sekali tekan atau 0.2 mL/s
3. Fluida yang digunakan NaOCl 2,5%
4. Pada metode tekanan negatif, tekanan hisap yang digunakan adalah -20kPa
5. Tidak menganalisa fenomena perpindahan panas yang ditimbulkan oleh gesekan dari *wall*.
6. Kekasaran permukaan dinding pada jarum dan *cone* atau saluran akar diabaikan (*Smooth wall*)
7. Aliran *steady*, *incompressible flow*, dan *uniform flow* dari *inlet*

1.4 Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini untuk membuktikan bahwa metode tekanan negatif lebih baik daripada tekanan positif. Pada metode tekanan negatif dengan penempatan jarum lebih jauh dari *apical* hasil yang diperoleh lebih bersih daripada metode tekanan positif yang penempatan jarumnya lebih dekat dari *apical*. Selain itu, terdapat tujuan khusus untuk menganalisa baik dalam bentuk kuantitatif maupun kualitatif pada kajian numerik ini, berikut tujuan khusus penelitian ini:

- Mengetahui *velocity profile* pada saluran akar
- Mengetahui *wall shear stress* pada dinding kanal
- Mengetahui *pressure* pada saluran akar
- Mengetahui keoptimalan setiap metode agar sampai ujung *apical* dengan cara memvariasikan kedalaman jarum yang dimasukkan pada saluran akar

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian dari tugas akhir ini yaitu:

1. Memberikan gambaran secara kualitatif dan kuantitatif mengenai karakteristik aliran fluida yang melintasi jarum pada sistem saluran akar dengan metode yang berbeda.
2. Memberikan pengetahuan dalam penggunaan *software* CFD untuk menyelesaikan permasalahan medis atau pembersihan saluran akar sehingga dalam pembersihan saluran akar kedepan lebih efektif.
3. Memberikan wawasan tentang bagaimana mengoptimalkan jarak terjauh yang dapat di lakukan dengan metode tekanan negatif.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang mendasari penelitian ini serta referensi-referensi pendukung tentang penelitian terdahulu

2.1 Dasar Teori

Pada bab ini akan dibahas tentang teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan serta dilengkapi pula dengan referensi mengenai penelitian-penelitian yang terkait.

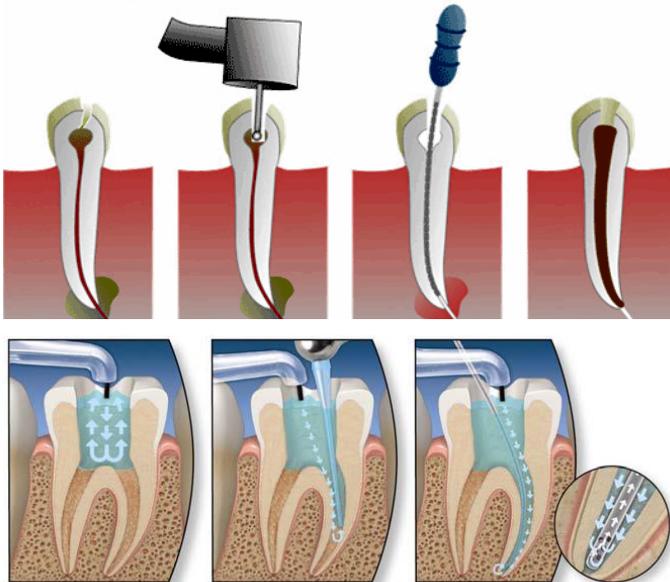
2.1.1 *Root Canal Irrigation*

Root canal atau saluran akar merupakan bagian gigi yang berada dibawah enamel atau email yang terdapat jaringan lunak disebut jaringan pulpa. Jaringan pulpa banyak mengandung serat saraf termasuk arteri, pembuluh darah, pembuluh getah bening dan jaringan ikat. Setiap saraf ini masuk ke gigi melalui ujung saluran akar atau apikal. Gigi memiliki paling tidak 1 saluran akar dan maksimal 4. Perawatan saluran akar adalah pendekatan non-bedah yang digunakan untuk mengobati dua hal yang berbeda yaitu menjaga kesehatan yang ada di sekitar apikal saluran akar untuk mencegah penyakit atau mengobati jaringan pulpa yang mati atau terinfeksi. Terapi saluran akar ini sangat diperlukan karena gigi tidak dapat sembuh dengan sendirinya. Tanpa pengobatan, infeksi akan menyebar, tulang disekitar gigi memburuk hingga gigi akan terlepas.

Terapi saluran akar adalah prosedur yang digunakan untuk menghilangkan pulpa yang rusak atau mati dengan mekanisme pembilasan menggunakan fluida irigan seperti sodium hypochlorite. Irgan memfasilitasi pemindahan mikroorganisme, sisa jaringan, debris dentin keluar dari saluran akar. Pembersihannya dengan metode kering yaitu tanpa ada irigan didalam saluran akar sebelum fluida diinjeksikan dari jarum atau keadaan kering. Irgan harus mengalami kontak langsung dengan keseluruhan area kanal hingga bagian apikal untuk efektifitas yang optimal. Setelah itu saluran akar dibilas kembali dengan

aquades (H_2O) agar sifat dari fluida asam bersih dari saluran akar. Kemudian saluran akar diisi dengan zat seperti karet yang disebut *gutta-percha* untuk mencegah rekontaminasi dan ditutup dengan paduan logam.

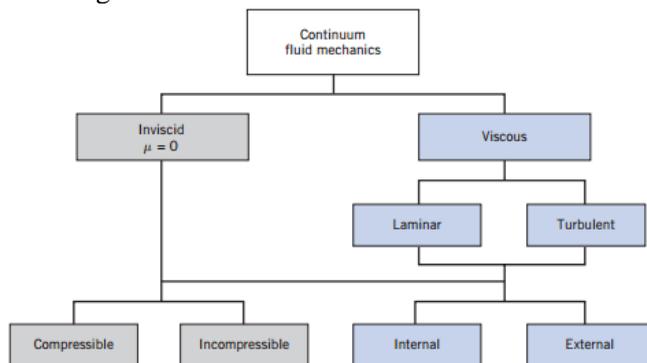
Pembilasan irigan yang ada saat ini masih menggunakan jarum sebagai penghantar. Umumnya pembilasan irigan adalah dengan metode tekanan positif dan metode tekanan negatif. Pada metode tekanan positif, fluida irigan diinjeksikan melalui jarum dan memenuhi saluran akar sampai bergerak keluar. Metode tekanan negatif memiliki tekanan hisap ketika proses pembersihan pada bagian *cone orifice*. Tekanan hisap ini membantu mempercepat pergerakan irigan keluar dari saluran akar ketika diinjeksikan dari jarum. Semakin baik pergerakan irigan maka semakin efektif dalam pembersihan karena jaringan mati, mikroorganisme dan dentin dapat keluar dari saluran akar.



Gambar 2.1 Pengeboran dan irigasi pada perawatan saluran akar
(Kocharian, 2010)

2.1.2 Klasifikasi Fluida

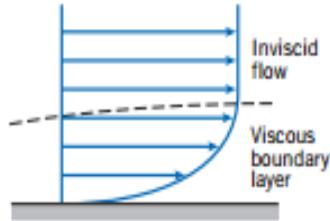
Fluida kenyataannya terdiri sebagai molekul-molekul yang bergerak. Pada berbagai aplikasi bidang *engineering* lebih diarahkan pada pengaruh rata-rata atau pengaruh mikroskopik dari gerakan molekul-molekul fluida. Selanjutnya pengaruh tersebut dapat dirasakan maupun diukur, sehingga fluida diperlakukan sebagai suatu zat yang mampu dibagi tak terhingga. Anggapan bahwa fluida sebagai satu kesatuan makroskopik disebut fluida sebagai *continuum*. Sebagai konsekuensi asumsi *continuum*, setiap properti fluida diasumsikan mempunyai harga tertentu pada setiap titik dalam ruang. Properti fluida seperti densitas (ρ), kecepatan (V), temperature (T) dan lain-lain merupakan fungsi kontinyu terhadap posisi dan waktu. Kebanyakan *engineer* mengklasifikasikan mekanika fluida *continuum* sebagai berikut:



Gambar 2.2 Klasifikasi jenis fluida (Fox dan Mc. Donald, 2011)

2.1.3 Aliran *Viscous* dan *inviscid*

Mekanika fluida continuum terbagi menjadi dua, yaitu *inviscid* dan *viscous*. Fluida *inviscid* dan *viscous* dipisahkan oleh sebuah batas yang dikenal dengan *boundary layer*. Daerah *inviscid* tidak memiliki efek *viscous* sehingga tegangan gesernya diabaikan.



Gambar 2.3 Skema lapisan batas (Fox dan Mc. Donald, 2011)

Daerah yang berada diantara permukaan padat (*solid surface*) dan *boundary layer* adalah daerah yang dipengaruhi efek *viscous*. Efek *viscous* memberikan sumbangan terhadap adanya tegangan geser (*shear stress*). Shear stress pada aliran *viscous* laminar dipengaruhi secara langsung oleh viskositas fluida dan gradient kecepatan yang ada dalam aliran fluida tersebut ($\tau_{yx} \neq 0$). Gaya yang berpengaruh pada aliran fluida ideal (*non-viscous*), hanya *pressure force*, karena dalam aliran tersebut tidak terdapat tegangan geser yang berpengaruh. Aliran *inviscid* tidak dipengaruhi oleh viskositas/kekentalan dan dalam kenyataannya fluida *inviscid* tidak ada.

2.1.4 Newtonian dan Non-Newtonian Fluid

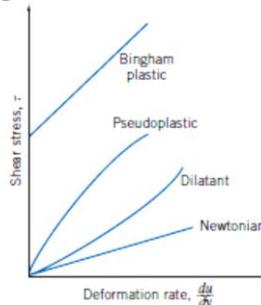
Beberapa fluida yang ada pada kehidupan sehari-hari seperti air, udara, dan gas termasuk dalam golongan fluida *Newtonian*. Fluida *Newtonian* ialah fluida dimana tegangan geser berbanding lurus atau mempunyai hubungan linear dengan nilai kecepatan deformasinya. Persamaan yang berkaitan dengan *Newtonian fluid* dirumuskan pada rumus 2.1.

$$\tau_{xy} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.1)$$

Non-Newtonian Fluids ialah fluida dimana tegangan geser dengan nilai kecepatan deformasi tidak terhubung secara linear, beberapa contoh fluida *Non-Newtonian* diantaranya adalah pasta gigi. Persamaan yang berkaitan dengan *Non-Newtonian fluid* dirumuskan pada rumus 2.2.

$$\tau_{xy} = \eta \frac{du}{dy} \quad (2.2)$$

Perbedaan antara *Newtonian fluid* dengan *Non-Newtonian fluid* dapat dilihat pada rumus 2.1 dan 2.2 dimana pada fluida *Newtonian* dipengaruhi oleh viskositas (μ) dianggap konstan (kecuali adanya pengaruh dari temperatur) sedangkan fluida *Non-Newtonian* dipengaruhi oleh *apparent viscosity* (η) tergantung pada tegangan geser. Untuk lebih jelasnya perbedaan antara *Newtonian fluid* dengan *Non-Newtonian fluid* diilustrasikan pada gambar 2.3.



Gambar 2.4 *Shear stress vs rate of shear strain* (Fox dan Mc. Donald, 2011)

2.1.5 Aliran Laminar dan Turbulen

Aliran *viscous* terbagi menjadi aliran laminar dan aliran turbulen. Aliran laminar adalah aliran dimana struktur aliran dibentuk oleh partikel-partikel fluida yang bergerak secara berlapis-lapis, dimana setiap lapisan bergerak diatas lapisan lainnya. Dalam aliran laminar, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncur secara mulus pada lapisan yang bersebelahan. Ciri-ciri aliran laminar adalah fluida bergerak mengikuti garis lurus, kecepatan fluidanya rendah, viskositasnya tinggi dan lintasan gerak fluida teratur antara satu dengan yang lain.

Umumnya klasifikasi ini bergantung pada gangguan-gangguan yang dialami suatu aliran yang mempengaruhi gerak partikel-partikel fluida tersebut. Apabila aliran mempunyai

kecepatan relatif rendah atau fluidanya sangat *viscous*, gangguan yang mungkin dialami medan aliran akibat getaran, ketidakteraturan permukaan batas dan sebagainya, relatif lebih cepat teredam oleh viskositas fluida disebut aliran laminar. Gangguan yang timbul semakin besar sehingga tercapai kondisi peralihan (*transition state*) pada kecepatan aliran yang bertambah besar atau efek viskositas yang berkurang. Terlampauinya kondisi peralihan menyebabkan sebagian gangguan tersebut menjadi semakin kuat, dimana partikel bergerak fluktuatif atau acak dan terjadi pencampuran gerak partikel antara lapisan-lapisan yang berbatasan. Kondisi aliran yang demikian disebut aliran turbulen.

Kondisi aliran yang laminar dan turbulen ini dapat dinyatakan dengan bilangan Reynolds (*Reynolds number*). Bilangan Reynolds merupakan bilangan tidak berdimensi yang merupakan perbandingan antara gaya inersia *body* terhadap gaya geser yang ditimbulkan aliran fluida.

$$Re = \frac{\text{Gaya Inersia}}{\text{Gaya Geser}} \quad (2.3)$$

Dimana: $\text{Gaya Inersia} = p \times A = \rho \cdot U^2 \cdot L^2 \quad (2.4)$

$$\text{Gaya Geser} = \tau \times A = \left(\frac{\mu \cdot U_{\infty}}{L}\right) \cdot L^2 \quad (2.5)$$

Sehingga,

$$Re = \frac{\rho \cdot U_{\infty}^2 \cdot L^2}{\left(\frac{\mu \cdot U_{\infty}}{L}\right) \cdot L^2} = \frac{\rho \cdot U_{\infty} \cdot L}{\mu} \quad (2.6)$$

dimana: ρ : Densitas fluida

U_{∞} : Kecepatan aliran *free stream* fluida

L : Panjang karakteristik yang diukur pada medan aliran, dalam kasus ini panjang karakteristik benda uji adalah penampang *needle* yaitu D

μ : Viskositas dinamis fluida

Sehingga,

$$Re = \frac{\rho \cdot U_{\infty} D}{\mu} \quad (2.7)$$

Bila $Re < 2300$, maka aliran tersebut tergolong aliran laminar. Apabila $Re=2300$, maka aliran tersebut aliran transisi dan jika $Re > 2300$ maka aliran tersebut adalah aliran turbulen.

2.1.6 *Incompressible Flow*

Incompressible flow adalah aliran dimana variasi densitas dianggap konstan sehingga dapat diabaikan, aliran *incompressible* mempunyai bilangan *Mach number* (M) $< 0,3$ serta perubahan densitas $< 5\%$. Perumusan suatu bilangan *Mach number* (M) (persamaan 2.8).

$$M = \frac{\bar{V}}{c} \quad (2.8)$$

dimana :

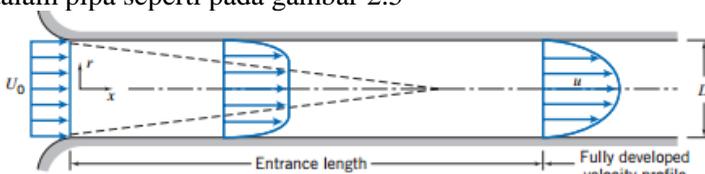
\bar{V} = kecepatan rata-rata suatu aliran

c = kecepatan rambat bunyi lokal

2.1.7 *Internal Flow*

Aliran internal adalah aliran dimana fluida yang mengalir dilingkupi secara penuh oleh suatu batas padat. Sedangkan aliran eksternal adalah aliran yang melingkupi bodi padat. Kedua aliran ini memungkinkan aliran laminar atau turbulen, kompresibel atau inkompresibel. Aliran internal dapat dicontohkan sebagai aliran didalam pipa. *Reynolds number* untuk aliran pipa didefinisikan sebagai $Re = \rho VD/\mu$, dimana V kecepatan rata-rata aliran dan D adalah diameter pipa. Aliran umumnya menjadi laminar jika $Re \leq 2300$ dan turbulen untuk nilai yang lebih besar. Untuk aliran eksternal dapat dicontohkan seperti aliran diatas plat datar. Nilai $Re_x = \rho U_\infty x/\mu$ dimana U_∞ adalah kecepatan sesaat diluar *boundary layer* dan x adalah panjang karakteristik dari jarak sepanjang plat. Aliran akan laminar jika nilai $Re \leq 5 \times 10^5$ dan turbulen untuk nilai yang lebih besar. Perbedaan nilai Re untuk mengkategorikan aliran laminar atau turbulen menjadikan perhitungan *Reynolds number* sangat penting dan informatif untuk kedua aliran baik aliran internal dan eksternal.

Aliran laminar pada daerah masuk pipa memiliki kecepatan U_0 seragam. *Boundary layer* berkembang sepanjang dinding saluran. Permukaan padat memberikan gaya geser perlambatan pada aliran sehingga kecepatan fluida di sekitar permukaan berkurang. Pada jarak yang cukup jauh dari pintu masuk pipa, *boundary layer* berkembang pada dinding mencapai bagian tengah pipa dan aliran menjadi sepenuhnya *viscous*. Aliran ketika bentuk profil tidak ada lagi perubahan dengan meningkatnya jarak X disebut *fully developed*. Profil aliran pada aliran laminar dalam pipa seperti pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Aliran pada daerah masuk pipa (Fox dan Mc. Donald, 2011)

2.2 Grid Independency Test

Pada penelitian (Zhang dkk, 2012) yang meneliti mengenai menginovasikan bentuk dari jarum *side vented* juga membahas mengenai *grid independency*.

Grid independency digunakan untuk meningkatkan akurasi dan validasi model. *mesh* yang digunakan pada penelitian ini adalah *hexahedral* dan pada area di dekat dinding memiliki variabel gradien atau lebih rapat. Untuk mengoptimalkan komputasi dan akurasi saat simulasi, *grid independency* dilakukan untuk menentukan jumlah nodes yang digunakan pada analisa komputasi, yang mana rata-rata tekanan pada apical dipilih untuk sebagai kriteria evaluasi. Seperti ditunjukkan perbedaan relatif atau *error* hanya 0.054% pada mengadopsi 2.12 juta komputasi node. Oleh karena itu, yang di usulkan *mesh* adalah kondisi perhitungan 3.

2.3 Penelitian Sebelumnya

Penelitian pembersihan saluran akar gigi telah diteliti sebelumnya dengan variasi-variasi tertentu baik eksperimen maupun simulasi seperti pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Penelitian-penelitian sebelumnya

No	Pembuat Jurnal	Judul Jurnal	Variasi	Tipe Penelitian
1	Fukumoto, Y. Dkk (2004)	<i>An ex vivo evaluation of a new root canal irrigation technique with intracanal aspiration</i>	<ul style="list-style-type: none"> • kedalaman 2 dan 3mm dari ujung <i>apical</i> • metode konvensional dan tekanan negatif 	Eksperimen
2	Chen, J.,E dkk (2013)	<i>Irrigation dynamics associated with positive pressure, apical negative pressure and passive ultrasonic irrigations:A computational fluid dynamics analysis</i>	Memvariasikan jarum dan metode: <ul style="list-style-type: none"> • Jarum <i>open ended</i> dan <i>side vented</i> • tekanan negatif Endovac • pasif dengan bantuan ultrasonic 	Simulasi
3	Kocharian Tikran (2010)	<i>Root Canal Irrigation-An Engineering Analysis Using Computational Fluid Dynamics</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Variasi panjang kerja 2mm dan 3mm dengan jarum <i>side vented</i> • Variasi Debit dan aliran 	Simulasi

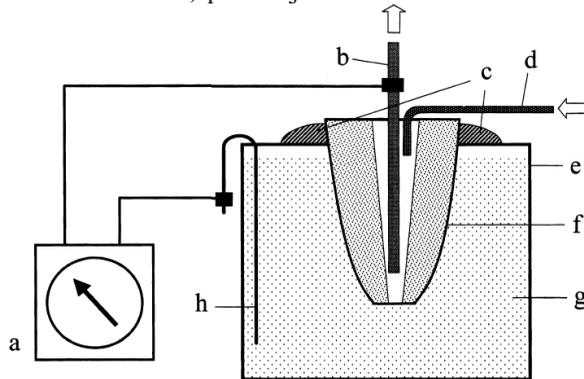
4	Boutsioukis dkk (2010)	<i>The Effect of Needle-Insertion Depth on the Irrigant Flow in the Root Canal: Evaluation Using an Unsteady Computational Fluid Dynamics Model</i>	Variasi Kedalaman <ul style="list-style-type: none"> • 1 sampai 5 mm Variasi desain jarum <ul style="list-style-type: none"> • <i>Openend</i> • <i>Side vented</i> 	Simulasi
5	Boutsioukis dkk (2013)	<i>Formation and Removal of apical vapor lock during syringe irrigation: a combined experimental and computational fluid dynamics approach</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Panjang kerja (1mm dan 3mm) • Cone ISO35 dan ISO 50 • Flow rate (0.033-0.260 mL/s) 	Eksperimen dan simulasi

Adapun rincian penelitian-penelitian ini, yaitu seperti berikut:

2.3.1 Eksperimen metode tekanan negatif

Fukamoto dkk (2004) melakukan penelitian mengenai evaluasi teknik baru irigasi saluran akar dengan aspirasi *intracanal*. Metode yang digunakan pada penelitian eksperimen ini adalah Fluida yang digunakan adalah 9mL dari 14 % *ethylenediaminetetraacetic acid* (EDTA) untuk 3 menit dan 6mL dari 6% *Sodium Hypochlorite* (NaOCl) untuk 2 menit serta laju alirannya adalah 3.0 mL/menit.

Metode lain yang digunakan, yaitu menggunakan panjang saluran akar 18 mm. Selain itu, penelitian ini membandingkan dengan beberapa grup yaitu grup konvensional dan tekanan negatif. Dalam grup 1 dan 2, pembersihan saluran akar dengan teknik irigasi tekanan negatif atau dengan aspirasi *intracanal*. Grup ini dihisap dengan menggunakan tabung pompa (*masterflex 7524-40 cole-parmer instrumen*) pada laju 3.0 mL/min.



Gambar 2.6 Metode penelitian eksperimen aspirasi *intracanal* (Fukamoto dkk, 2004)

Pada jarum injeksi menggunakan ukuran (diameter luar 0.41 mm, diameter dalam 0.19 mm; Blunt, Nipro Co., Osaka, Japan). Selain itu, untuk jarum lainnya atau untuk jarum aspirasi diletakkan pada 12 mm dari ujung *apical* dengan ukuran jarum (diameter luar 0.55 mm dan diameter dalam 0.19 mm). Dengan menempatkan jarum-jarum tersebut pada 2 mm dan 3 mm dalam masing-masing

kelompok dan tekanan hisap dari aspirasi adalah -20 kPa ilustrasi metode eksperimen ini dapat dilihat pada gambar 2.6. Untuk yang grup 3 dan 4 menggunakan metode konvensional, yaitu menggunakan tekanan positif. Dengan jarum yang digunakan sama dengan yang tekanan negatif akan tetapi penggunaannya tidak menggunakan tekanan hisap atau tekanan aspirasi.

Dari eksperimen ini didapatkan bahwa penghapusan lapisan *smear* lebih efektif dengan metode tekanan negatif atau dengan aspirasi *intracanal* daripada menggunakan metode konvensional atau dengan cara tekanan positif.

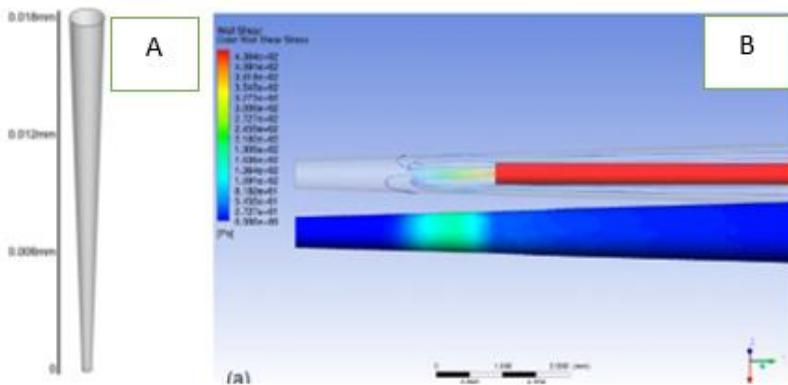
2.3.2 Membandingkan Metode Tekanan Positif, Negatif, dan Pasif Ultrasonic dengan CFD

Pada penelitian yang dilakukan oleh **Chen dkk (2013)** mengenai dinamika irigasi dengan tekanan positif, tekanan negatif dan *passive ultrasonic irrigations* menggunakan CFD.

Metode yang digunakan pada penelitian ini pemodelannya adalah dengan *incompressible flow* Newtonian *fluid* dengan fluida yang digunakan adalah air dengan $\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$ dan $\mu = 1.0 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$ serta menggunakan *k- ω turbulence*. Debit yang digunakan adalah 0.15 mL/s. Panjang saluran akar yang digunakan adalah 18 mm dengan diameter lubang 1.57 mm dan 0.45 mm paling ujung dari *apical* atau *tapper 6.2%* ilustrasi dapat dilihat pada gambar 2.7. *Mesh* yang digunakan adalah 600 ribu elemen *hexahedral map*. Kelompok 1 dengan jarum suntik *open ended* (lubang ujung) diameter luar 0.32 mm dan diameter dalam 0.196 mm. kelompok 2 dengan jarum *side vented* (lubang samping) dengan ukuran diameter sama dengan *open ended*. Kelompok 3 dengan jarum EndoVac tekanan negatif dengan *micro canulla* terdiri dari 12 *pattern* lubang yang diposisikan pada antara 0.2 dan 0.7 mm dari ujung jarum serta masing-masing lubang berdiameter 0.1 mm. Kelompok 4 dengan metode *passive* dengan bantuan ultrasonic dengan bentuk jarum adalah persegi dengan panjang sisi adalah 0.2 mm. Pemosisian jarum di tempatkan pada jarak yang berbeda-beda untuk *open ended* dan *side vented* diposisikan pada 3 mm dari

apical, untuk tekanan negatif di posisikan menempel hingga ujung *apical*, serta untuk ultrasonic di posisikan 1 mm dari ujung *apical*. Bentuk geometri *cone* diilustrasikan pada gambar 2.7 poin a.

Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa jarum *side vented* mempunyai tegangan geser lebih besar dari *open ended* akan tetapi lebih kecil dari ultrasonic serta paling kecil tegangan geser adalah pada tekanan negatif dan pemosisian jarum *side vented* pada jarak 1 mm dari *apical* serta untuk *open ended* 2 mm dari *apical*. Hasil dari penelitian ini diilustrasikan pada gambar 2.7 poin b.

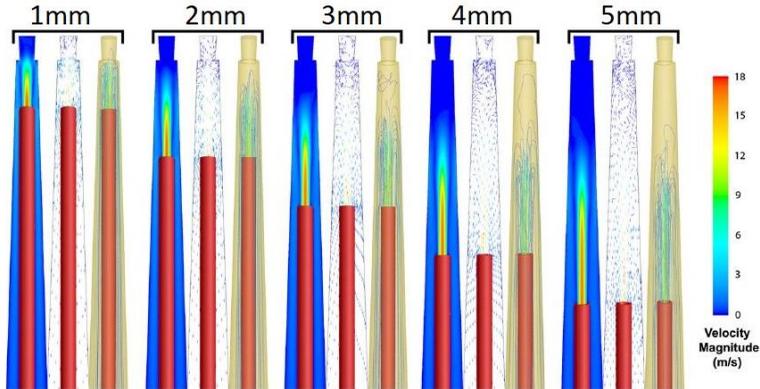


Gambar 2.7 poin a) bentuk geometri *cone*, sedangkan poin b) hasil tegangan geser (Chen dkk, 2013)

2.3.3 Penelitian numerik mengenai efek kedalaman dan perbedaan jarum pada pembersihan saluran akar

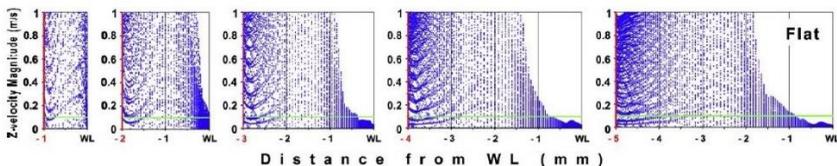
Boutsioukis dkk (2010) melakukan penelitian numerik mengenai efek kedalaman penyisipan jarum pada aliran irigan di saluran akar. Jarum yang digunakan adalah 30-G dengan tipe jarum *open-ended (flat)* dan *side-vented*. Diameter luar jarum 320 μm , diameter dalam jarum 196 μm dan panjang jarum 31 mm. Panjang saluran akar diasumsikan 19 mm dengan diameter apikal sebesar 0,45 mm dan taper 6%. Variasi pada simulasi ini adalah kedalaman penyisipan jarum yaitu 1, 2, 3, 4, dan 5 mm dari panjang kerja. Fluida irigan yang digunakan sodium hypochlorite (NaOCl) 1% dengan densitas $\rho = 1,04 \text{ g/cm}^3$, viskositas $\mu = 0,99 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$ dan

dimodelkan sebagai fluida Newtonian inkompresibel. *Velocity profile* yang disimulasikan diilustrasikan pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Hasil *velocity profile* (Boutsioukis dkk, 2010)

Hasil yang didapat adalah bentuk aliran hanya menunjukkan sedikit perbedaan diantara variasi jarak untuk setiap tipe jarum. Perbedaan besar lebih terlihat pada kedua tipe jarum. Jarum *side-vented* hanya memenuhi syarat untuk pertukaran irigan pada jarak 1 sampai 1,5 mm dari *apical*. Sedangkan untuk jarum flat mengalami pertukaran irigan yang lebih luas yaitu 1 sampai 2 mm dari apikal. Pertukaran irigan terjadi untuk kecepatan diatas 0,1 m/s seperti garis hijau yang ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Grafik kecepatan yang dihasilkan (Boutsioukis dkk, 2010)

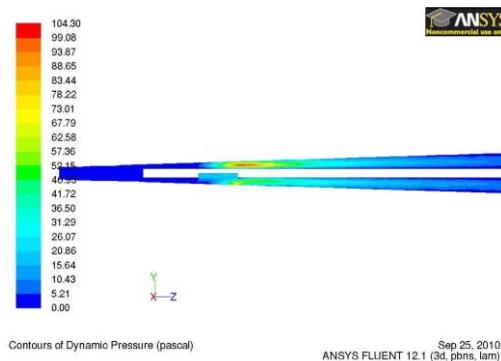
Untuk bentuk tegangan geser pada dinding saluran akar hampir sama untuk variasi posisi pada setiap tipe jarum. Nilai maksimum tegangan geser dinding menurun seiring semakin jauh panjang kerja dari jarum., tetapi areanya semakin luas. Maksimum

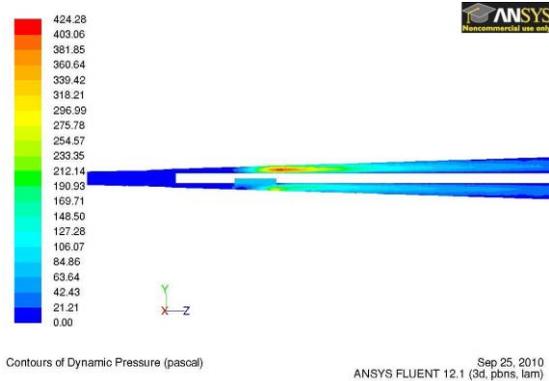
tegangan geser dinding terkonsentrasi pada *outlet* jarum. Tekanan pada ujung apikal berbeda pada setiap variasi posisi dan tipe jarum. Jarum flat memiliki rata-rata tekanan lebih besar dibanding jarum *side-vented*.

2.3.4 Tekanan pada irigasi saluran akar

Kocharian (2010) melakukan penelitian tentang distribusi kecepatan dari aliran irigan, tekanan pada dinding, dan tegangan geser dinding pada saluran akar berbasis *CFD*. Pemodelan saluran akar dibuat sepanjang 18 mm dengan diameter 1,57 mm pada lubang kanal dan 0,45 mm pada titik apikal (*taper* 6,2%). Jarum yang digunakan adalah jarum 30-G *side-vented* dengan dimensi $D_{ext} = 320\mu\text{m}$, $D_{int} = 196\mu\text{m}$ dan panjang 31 mm. Fluida irigan yang digunakan adalah air suling yang dimodelkan fluida *Newtonian* inkompresibel dengan densitas $\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$ dan viskositas $\mu = 1.0 \times 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$. Variasi pada penelitian ini ada 2 yaitu variasi posisi jarum dan variasi laju aliran atau debit. Variasi posisi ditentukan 2 mm dan 3 mm dari apikal. Variasi debit ditentukan 0,15 dan 0,3 mL/s.

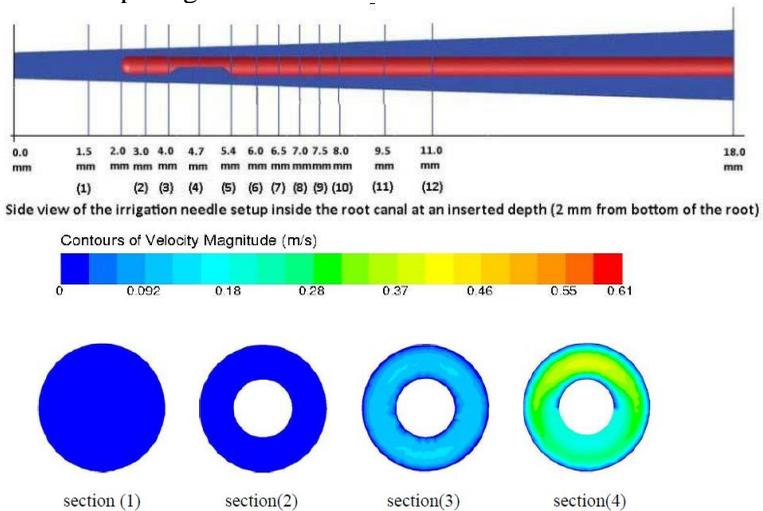
Peneliti menyimpulkan bahwa memvariasikan debit dan posisi penyisipan jarum tidak mengubah pola aliran. Perubahan debit aliran dan kedalaman jarum hanya mempengaruhi besarnya kecepatan aliran, tegangan geser dinding, dan tekanan dinamis. Hasil dari penelitian tekanan dinamis dapat dilihat pada gambar 2.10





Gambar 2.10 *Contour* tekanan dinamis (Kocharian, 2010)

Selain itu, metode pengambilan data yang digunakan adalah dengan cara membuat potongan-potongan pada saluran akar untuk melihat profil kecepatan. Pemotongan-pemotongan ini menggunakan alat *iso surface* pada *tools*. Ilustrasi pemotongan diperlihatkan pada gambar 2.11



Gambar 2.11 Metode pemotongan dan hasil kontur kecepatan dari setiap potongan (Kocharian, 2010)

2.3.5 Penghapusan *Apical Vapor Lock* dengan memvariasikan debit dan posisi

Boutsoukis dkk (2013), penelitian yang dilakukannya mengenai pembentukan dan penghapusan *apical vapor lock* selama proses irigasi dengan gabungan eksperimen dan simulasi. Penelitian eksperimen menggunakan resin transparan sebanyak 20 blok digunakan untuk membuat saluran akar standar dengan panjang seragam yaitu 18 mm dengan pembagian grup yaitu grup A dan grup B. Grup A menggunakan ukuran ISO 35 dan *tapper* 4%, sedangkan yang grup B menggunakan ukuran ISO 40 dan *tapper* 4%. Metodenya dengan cara pembilasan 2 mL air secara berturut-turut kemudian instrumen dilakukan menggunakan 5mL dengan jarum terbuka (NaviTip, Ultradent) ditempatkan pada 3 mm dari ujung apikal. Pada akhir instrumentasi dilakukan proses pembilasan lagi menggunakan air sebanyak 10 mL.

Jarum yang digunakan pada penelitian ini adalah 2 jenis jarum yang berbeda yaitu NaviTip untuk yang terbuka dan KerrHawe untuk yang tertutup. Jarum diposisikan pada 1 mm atau 3 mm dari apikal. Dengan menggunakan NaOCl 1% sebagai fluida kerjanya dan laju aliran yang digunakan pada penelitian eksperimen adalah 0.033,0.083,0.166 dan 0.26 ml/s.

Selain menggunakan Eksperimen, penelitian **Boutsoukis (2013)** juga menggunakan simulasi CFD. Metode CFD model digunakan untuk penyelidikan lebih lanjut dengan memodelkan bentuk saluran akar dengan bentuk frustum atau kerucut dengan panjang 18 mm. simulasi ini diasumsikan dinding kaku dan kedap air dengan diameter 0.35 dan 0.5 mm (ISO ukuran 35 dan 50) dan *tapper* 4%. Dua jenis jarum yang digunakan yaitu seperti pada penelitian eksperimen

Penelitian 3D geometri dan *mesh* dibuat menggunakan *software* Gambit 2.4 (ANSYS Inc., Canonsburg, PA, USA) dengan struktur *hexahedral mesh* terdiri dari sel-sel 450000 hingga 600000 dan digunakan untuk setiap kasus. *No slip boundary condition* yang dikenakan pada dinding saluran akar maupun jarum dan dengan hipotesis *of rigid, smooth dan impermeable wall*. Dengan laju

aliran 0.083 dan 0.26 mL/s tekanan atmosfer dikenakan di lubang cone. Pemodelan menggunakan model aliran 2 *phase*. Fluida yang digunakan adalah *ambient air* (densitas 1.135 kg/m^3 dan viskositas $1.92 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$) dan fluida irigasi menggunakan NaOCl 1% (densitas 1040 kg/m^3 , viskositas $0.99 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$, surface tension $75 \times 10^{-3} \text{ N/m}^3$). Kedua *fluid* dimodelkan dengan *incompressible*, Newtonian *fluids*, dan dianggap *immiscible*. Dengan sudut kontak *irrigant* pada dinding saluran akar adalah 22° . Simulasi a *hydrophilic surface* sementara sudut kontak adalah 80° dikenakan antara *irrigant* dan dinding luar jarum yang terbuat stainless steel.

Penyimulasiannya menggunakan Fluent 6.3 untuk mengatur dan memecahkan masalah dan menganalisa hasil. Memodelkan dengan bergantung terhadap waktu, three dimensional, *incompressible flow* dipecahkan dengan *implicit iterative solver*. Asumsi menggunakan *unsteady isothermal flow*. Metode VOF (*Volume of Fluid*) digunakan untuk mensimulasi aliran dua fasa untuk melacak aliran gerakan antar muka. Memodelkan dengan *laminar flow*. Serta kriteria konvergen adalah 10^4 dari skala residual. Dan time stepnya menggunakan 10^7 s digunakan sepanjang perhitungan.

Hasil dari penelitian ini adalah *apical vaporlock* mungkin terjadi dalam kondisi tertentu selama proses irigasi saluran akar. Meningkatkan ukuran apikal, menggunakan jarum terbuka, posisi jarum lebih dekat WL dan memberikan irrigant pada laju aliran tinggi tampaknya mengakibatkan lebih kecil *apical vaporlock*. Sudut kontak peningkatan dapat mengakibatkan peningkatan gelembung jebakan bila dikombinasikan dengan laju aliran rendah. Penyisipan kedua singkat dari jarum bekerja panjang sementara mengairi pada laju alir 0.083 mL s^{-1} dan ketika dengan *flow rate* 0.260 mL s^{-1} tanpa menggerakkan jarum mampu menghapus *apical vaporlock* yang ada.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan metode penelitian aliran melalui *cone* dan *needle* pada proses pembersihan saluran akar gigi dengan numerik. Studi numerik ini menggunakan metode piranti lunak simulasi *CFD* komersial untuk menggambarkan *geometry* dan untuk menggambarkan proses simulasinya. Simulasi numerik dilakukan untuk menganalisa fenomena tiga dimensi (3D) dalam pembersihan saluran akar yang fluida yang masuk tersebut akan membersihkan saluran akar yang diakibatkan oleh pengeboran gigi.

Berikut metodologi pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari serta mempelajari beberapa literatur yang terkait dengan tema penelitian, seperti mengumpulkan informasi berupa artikel ilmiah, jurnal, *text book*, serta hasil penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya

2. Simulasi

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui adanya fenomena aliran tiga dimensi (3D) saat melewati *cone* dan *needle* pada saluran akar. Pada tahap ini langkah-langkah yang dilakukan yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*.

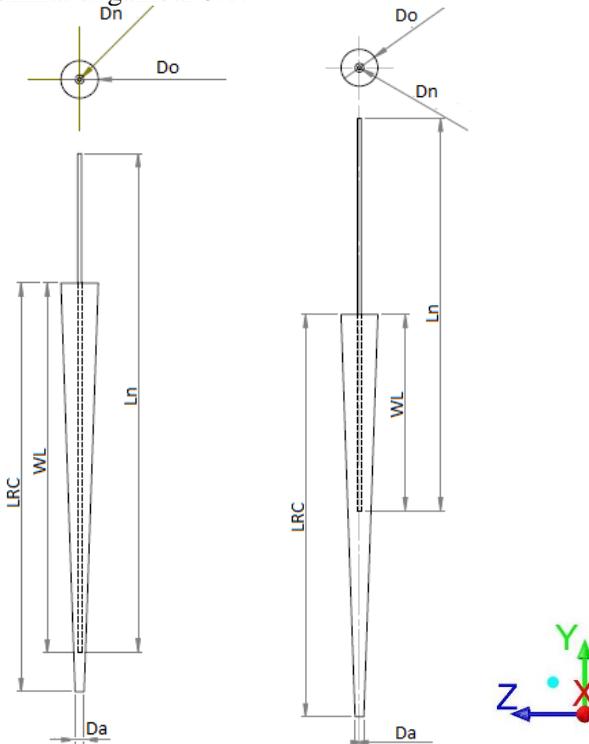
3. Penyusunan Laporan

Laporan ini tersusun atas pendahuluan, tinjauan pustaka, dan metodologi penelitian.

3.1 Geometri Benda Uji

Penelitian secara numerik ini dilakukan dengan menyimulasikan jarum atau *needle* yang dimasukkan kedalam *cone* gigi. *cone* gigi berbentuk kerucut terpancung dan *needle* berbentuk silinder tanpa perubahan diameter. *Needle* dan *cone* digabungkan dengan cara displit sehingga terbentuk geometri

sendiri antara *cone* dan *needle*. *Needle* dimasukkan kedalam saluran akar disebut dengan panjang kerja atau WL. Selain itu, referensi 0 mm berada pada dasar saluran akar. Ilustrasi gambar dapat dilihat di gambar 3.1.



Gambar 3.1 Permodelan saluran akar dengan jarum *open ended* metode tekanan positif (kiri) dan metode tekanan negatif (kanan)

Spesifikasi dari geometri metode tekanan positif adalah sebagai berikut:

- Diameter Orifis (D_o) : 1.68 mm, 1.88 mm, dan 1.92 mm
- Diameter Apikal (D_a) : 0.45 mm (*tapper 7%*)
- Diameter jarum (D_n) : 0,196 mm
- Panjang jarum (L_n) : 25 mm
- Kedalaman penyisipan (WL) : 2 mm dari apikal

- Panjang saluran akar (L_{RC}) : 17.5 mm, 20.5 mm, dan 21 mm (dari apikal)

Spesifikasi dari geometri metode tekanan negatif adalah sebagai berikut:

- Diameter Orifis (D_o) : 1.88 mm dan 2.02 mm
- Diameter Apical (D_a) : 0.45 mm (*tapper 7%*)
- Diameter jarum (D_n) : 0,196 mm
- Panjang jarum (L_n) : 20 mm
- Kedalaman penyisipan (WL) : 10 mm dari *cone* orifis
- Panjang saluran akar (L_{RC}) : 20.5 mm dan 22.5 mm (dari apikal)
- Tekanan hisap : -20 kPa

Variasi yang akan dibuat pada metode tekanan positif yaitu variasi kedalaman pemasukan jarum dengan panjang saluran akar yang berbeda-beda dengan nilai *Reynold number* (Re_n) adalah 1376. Nilai Re_n yang digunakan ini sama untuk setiap pemvariasiannya. Pada tekanan negatif yaitu variasi jarak dari apikal yang bertujuan untuk mengetahui jarak terjauh yang dapat terjangkau oleh aliran 0.2 mL/s dan menggunakan nilai Re_n yang konstan yaitu 1376 (Laminar). Variasi metode tekanan positif dapat dilihat pada tabel 3.1 dan metode tekanan negatif ini dapat dilihat pada tabel 3.2.

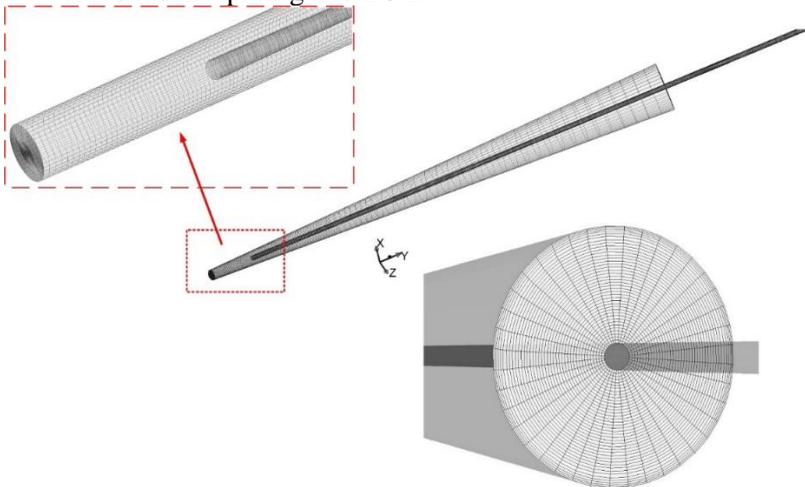
3.2 Metode Numerik

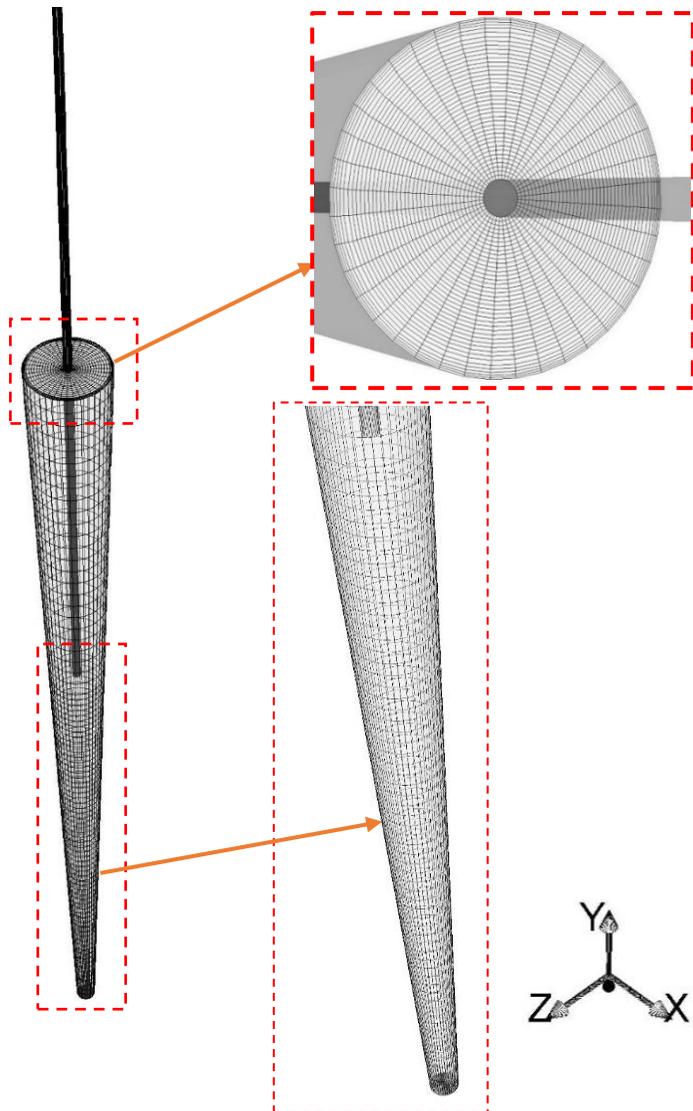
Penelitian ini adalah dengan menyimulasikan proses pembersihan gigi sehingga dari penelitian ini dapat diketahui kecepatan fluida. Penyimulasian pada penelitian ini memanfaatkan komputasi fluida (CFD) untuk melakukan pendekatan secara numerik dan membuat geometri model. Pada pemodelannya, model dibuat sedemikian rupa hingga menjadi seperti geometri pada gambar 3.1 serta mendiskritisasikan model (*meshing*) sehingga model dapat diproses dengan CFD. Secara umum, urutan kerja yang dilakukan pada penelitian numerik ada dua tahapan, yaitu tahap *pre-processing* dan dilanjutkan dengan dengan tahap *post-processing*.

3.2.1 Tahap *Pre Processing*

Pada tahap *pre-processing* adalah tahapan proses yang paling berpengaruh dalam proses simulasi sehingga pada tahap ini harus benar dalam memodelkan geometri benda. Secara umum proses *pre-processing* di bagi menjadi tiga tahapan proses, yaitu:

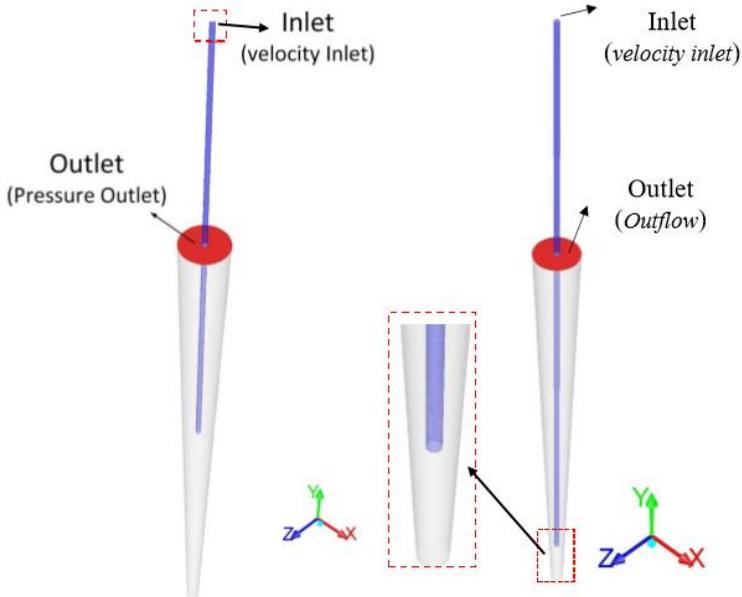
- a. Pembuatan model 3D berupa *cone* dan *needle* mengacu pada geometri gambar 3.1. dimana model *cone* dan *needle* dibuat dengan variasi panjang dan diameter *cone* yang ada. Pembuatan geometri dilakukan dengan membuat beberapa koordinat serta *edge* yang tersedia.
- b. Pembuatan *meshing* dilakukan untuk setiap variasi diameter pada *cone*. *Meshing* dilakukan dengan membagi menjadi 2 bagian yaitu *cone* dan *needle* dibagi dua bagian pada koordinat y dan *cone* dibagi menjadi dua pada bagian setelah *needle*. *meshing* volume yang digunakan dengan tipe *hexahedral-map*. Metode yang semakin rapat pada sisi dinding serta rapat pada sisi *needle* dan *cone*, serta pada sisi *cone* bawah dibuat lebih rapat sehingga dapat terlihat dengan lebih jelas pada keluaran fluida dari ujung *needle*. Contoh hasil *meshing* pada *cone* dan *needle* untuk percobaan ini, diilustrasikan pada gambar 3.2.





Gambar 3.2 Meshing benda uji dengan yang point a adalah untuk tekanan negatif dan yang point b adalah tekanan positif dengan jarum *open ended* dengan tipe Hexahedral-map

- c. Tahapan selanjutnya adalah pembuatan *boundary condition* untuk dapat diproses pada proses selanjutnya. Tahapan ini adalah tahapan untuk mendefinisikan fluida masuk (*inlet*), keluar (*outlet*), serta dinding yang membatasinya (*wall*). Pendefinisian ini dengan *inlet* pada ujung atas *needle*, *outlet* pada bagian *cone orifice* atau atas gigi, serta untuk *wall* pada bagian yang menyelimuti *cone* dan *needle*. contoh hasil *boundary condition* diilustrasikan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Boundary condition*

Boundary condition yang digunakan untuk setiap metode adalah sama. Saluran masuk fluida atau *inlet* dengan *velocity inlet* dan saluran keluar pada saluran akar dengan *pressure outlet*. Akan tetapi, yang membedakan antara keduanya adalah *outlet* untuk metode tekanan positif tanpa tekanan hisap atau tekanan yang digunakan tekanan atmosfer, sedangkan untuk metode tekanan negatif menggunakan tekanan hisap yaitu -20 kPa (*gauge*) serta variasi yang digunakan.

3.2.2 Tahap *Post Processing*

Pada tahap *post-processing* adalah tahapan proses memulai simulasinya. Simulasi ini harus menyetting parameter-parameter yang digunakan. Parameter yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

a. *Grid*

Langkah pertama yang dilakukan adalah *read* untuk *file* hasil *meshing* berbentuk *.msh* . Kemudian *grid checking* untuk melihat apakah *grid* pada *meshing* tersebut sudah bagus untuk dilakukan *post-processing* apabila tidak sesuai maka akan muncul tulisan *error* , Setelah itu skala ditentukan dalam satuan milimeter (*mm*).

b. *Models*

Pada langkah ini dilakukan pemodelan karakteristik aliran, meliputi pemilihan model *solver pressure based, steady* dan menggunakan model laminar berdasarkan penelitian **Boutsioukis (2013)**

c. *Materials*

Data *properties* material fluida yaitu NaOCl 2,5% dengan *density* (ρ) 1060 kg/m³ dan *viskositas absolute* (μ) 1x10⁻³ N.s/m².

d. *Operating conditions*

Menentukan kondisi daerah operasi dan lingkungan di sekitar benda uji. *Operating conditions* menggunakan *operating pressure* sebesar 1 atm = 101325 Pa (*pascal*) dan koordinat penempatan lokasi *cone orifice*.

e. *Cell zone*

Menentukan fluida yang digunakan pada penelitian ini serta mendefinisikan bahwa berbentuk *cone* dengan *tapper* 7% atau kemiringan hanya 2°.

f. *Boundary conditions*

Menentukan parameter-parameter dan batasan yang telah dibuat pada tahap *pre-processing* dengan membuat *inlet*,

outlet, serta *wall*. Pada *inlet* didefinisikan sebagai *velocity inlet* dalam (m/s) dimana *velocity* yang *diinputkan* yaitu 6.62 m/s (tekanan positif) dan 4.65 m/s (tekanan negatif), pada *wall* diset faktor kekasaran dibuat *default* dan *no slip*, sedangkan pada daerah *outlet* didefinisikan sebagai *outflow* (tekanan positif) dan (*pressure outlet*) pada tekanan negatif.

g. *Solution*

Solution pada penelitian ini akan menggunakan metode *SIMPLE* serta *discretization second order* untuk *pressure*, *second-order upwind* untuk momentum.

h. *Initialize*

Merupakan langkah awal untuk proses iterasi agar mudah mencapai *convergen*, langkah ini dapat dihitung dari *inlet*, *outlet*, atau daerah lainnya. Dalam kasus ini langkah awal dimulai dari sisi *inlet*.

i. *Monitor residual*

Pada proses iterasi berlangsung harga kriteria konvergensi ditentukan agar proses iterasi tidak berlangsung terlalu lama. Kriteria konvergensi ditetapkan sebesar 10^{-4} untuk *continuity*. Selain itu, untuk *x-velocity*, *y-velocity*, *z-velocity* dibuat 10^{-6} . Proses iterasi dinyatakan telah *convergen* setelah residualnya mencapai nilai lebih kecil dari nilai yang telah ditentukan. Serta ditentukan juga plot proses iterasi.

j. *Iterate*

Langkah selanjutnya setelah penetapan harga *monitor residual* adalah *iterate*, yang merupakan langkah perhitungan pada piranti lunak simulasi *CFD* komersial. *Iterate* akan secara otomatis berhenti apabila semua nilai residualnya mencapai nilai lebih kecil dari nilai yang telah ditentukan dapat dikatakan iterasi sudah *convergen*. Apabila tidak tercapai kriteria *convergen* maka dilakukan tahapan untuk memperbaiki pembuatan *meshing*.

k. *Post-processing*

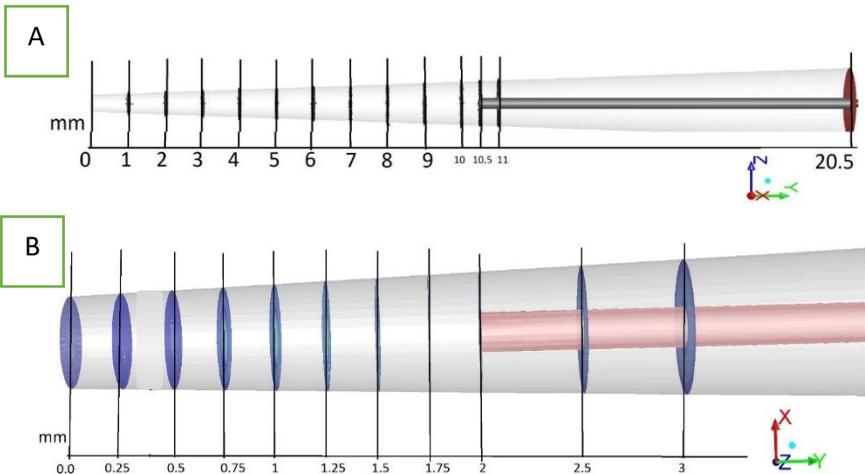
Merupakan penampilan hasil setelah dilakukan iterasi. Hasil tersebut berupa data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif berupa distribusi nilai kecepatan, tegangan geser, dan lain sebagainya. Data kualitatif berupa penampilan *velocity profile*, tegangan geser, dan tekanan pada setiap *cross section* serta penampilan kontur kecepatan serta variasi-variasi yang digunakan pada penelitian ini. Posisi pengambilan data diilustrasikan pada gambar 3.4.

Tabel 3.1 Variasi kedalaman dan pengambilan data Tekanan Positif

No	Variasi kedalaman jarum (mm)	Variasi Pengambilan data (mm)	<i>Reynold Number</i>
1	15.5	<ul style="list-style-type: none"> • 0 mm (<i>apical</i>) dan 2 mm (posisi ujung jarum) • 0 mm sampai 3 mm dengan rentang 0.25 mm 	1376
2	18.5	<ul style="list-style-type: none"> • 0 mm (<i>apical</i>) dan 2 mm (posisi ujung jarum) • 0 mm sampai 3 mm dengan rentang 0.25 mm 	1376
3	19	<ul style="list-style-type: none"> • 0 mm (<i>apical</i>) dan 2 mm (posisi ujung jarum) • 0 mm sampai 3 mm dengan rentang 0.25 mm 	1376

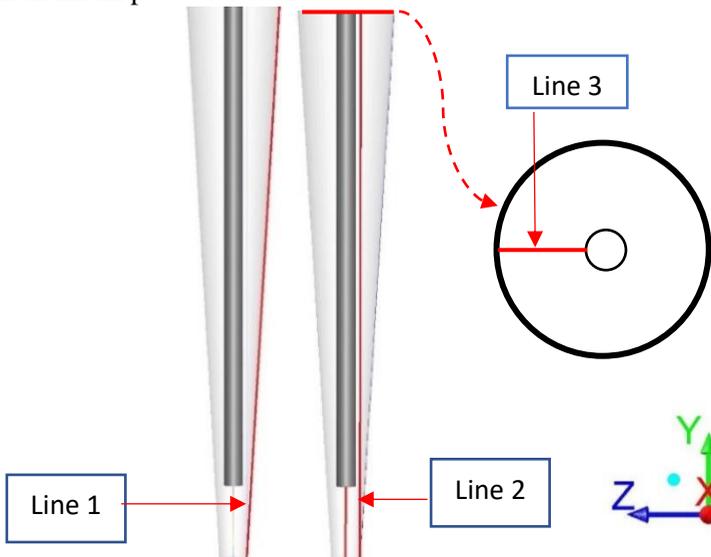
Tabel 3.2 Variasi jarak dari apikal dan pengambilan data Tekanan Negatif

No	Variasi Jarak dari apikal (mm)	Variasi Pengambilan data (mm)	Reynold Number
1	10.5	<ul style="list-style-type: none"> • 0 mm (<i>apical</i>) dan 20.5 mm (<i>cone orifice</i>) • 0 mm sampai 11 mm dengan rentang 1 mm • Posisi 10.5 mm (ujung jarum) 	1376
2	12.5	<ul style="list-style-type: none"> • 0 mm (<i>apical</i>) dan 22.5 mm (<i>cone orifice</i>) • 0 mm sampai 13 mm dengan rentang 1 mm • Posisi 12.5 mm (ujung jarum) 	1376



Gambar 3.4 Posisi pengambilan data pada poin a) tekanan negatif dan poin b) tekanan positif

Selain itu untuk menunjang data kualitatif atau kontur kecepatan, tegangan geser dan tekanan dinamis diperlukan data kuantitatif. Data kuantitatif dipresentasikan dalam bentuk grafik. Adapun posisi pengambilan grafiknya ditampilkan pada gambar 3.5. Pengambilan data menggunakan fitur *line/rake*. Pada tegangan geser diambil pada dinding sepanjang saluran akar seperti ditunjukkan pada *line 1*, sedangkan untuk kecepatan dan tekanan dinamis diambil pada setelah keluar jarum hingga dasar saluran akar dan dari dasar saluran akar hingga *outlet* saluran akar seperti di tunjukkan pada *line 2*. Pengambilan data ini dilakukan pada kedua metode. Selain itu, pengambilan data untuk perbandingan antara kedua metode dilakukan dengan membuat *line/rake* pada bagian *outlet* yang kemudian dilakukan pencarian kecepatan maksimum pada *line 3* tersebut.



Gambar 3.5 Posisi pengambilan data menggunakan *line/rake* untuk data kuantitatif Tegangan geser (kiri), kecepatan dan tekanan dinamis (kanan), dan kecepatan *outlet*

3.3 Langkah penelitian

Langkah-langkah penelitian numerik pada pembersihan saluran akar gigi ini adalah:

1. Melakukan Pembuatan geometri dari *cone* dan *needle*
2. Memodelkan *cone* dan *needle* dengan menggunakan *pre-processing*
3. Membuat *meshing* dengan metode pembuatan *meshing* berupa *grading mesh*. Menggunakan *mesh* tipe *hexahedral-map*
4. Menentukan *boundary* condition pada model uji serta batasan yang digunakan dalam penyelesaian simulasi seperti *inlet*, *outlet*, dan *wall*
5. Menentukan batas operasi pada simulasi model uji, meliputi : *models*, *materials*, *boundary condition*, *solution*, *initialize*, *monitor residual*, dan *iterate*
6. Melakukan iterasi hingga mencapai konvergensi yang ditentukan pada residual. Bila simulasi belum konvergen maka analisa *grid independency* divariasikan sebanyak 4 variasi jumlah *mesh*.
7. Setelah didapatkan hasil konvergen maka selanjutnya dilakukan analisa *grid independency* analisa *grid independency* divariasikan sebanyak 4 variasi jumlah *mesh*.
8. Melakukan simulasi pada model uji dengan variasi yang ditentukan
9. Melakukan *post-processing* tiap variasi
10. Analisa hasil dan penarikan kesimpulan

3.4 Analisa *Grid Independency*

Dari beberapa hasil simulasi dengan menggunakan perangkat lunak CFD, telah dilakukan variasi *mesh* pada model pembersihan saluran akar. Variasi *mesh* dilakukan pada bagian *cone* atau bentuk lubang yang telah dibuat. Variasi *mesh* dibuat sebanyak empat buah dengan kerapatan *mesh* yang berbeda-beda.

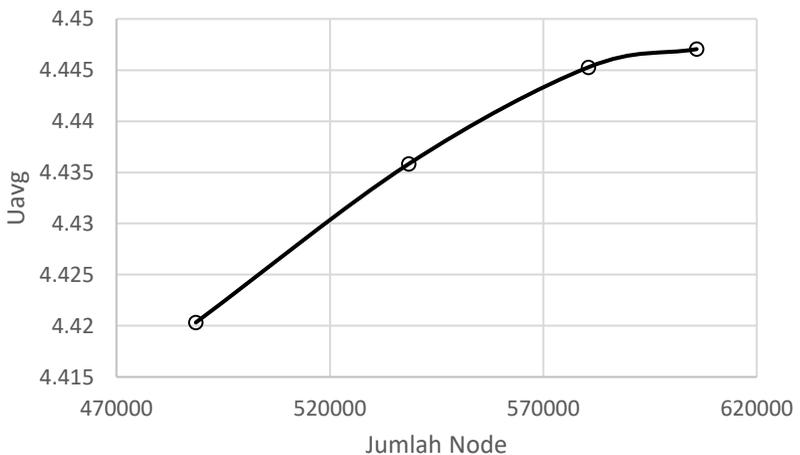
Analisa *grid independency* menggunakan model laminar dengan menganalisa kecepatan rata-rata (V_{avg}) untuk setiap variasi

mesh yang dibuat pada posisi $y=1\text{mm}$ sebagai data acuan, sehingga dapat dilihat pada tabel 3.3.

Kecepatan lokal maksimum ditinjau pada posisi $y=1\text{ mm}$. nilai kecepatan lokal maksimum pada *mesh* B dijadikan sebagai referensi untuk mencari penyimpangan data terhadap ke empat variasi *mesh*. Pada tabel 3.3 disajikan data perbandingan tiap variasi *mesh* terhadap nilai kecepatan lokal maksimum.

Tabel 3.3 *Grid independency* ditinjau dari V_{avg} pada *cross section* $y=1\text{ mm}$

No	Jumlah <i>Node</i>	<i>Mean Velocity</i> (m/s)	<i>Relative discrepancy</i> (%)
1	488598	4.420	-
2	538459	4.435	0.339
3	580598	4.445	0.225
4	605918	4.447	0.044

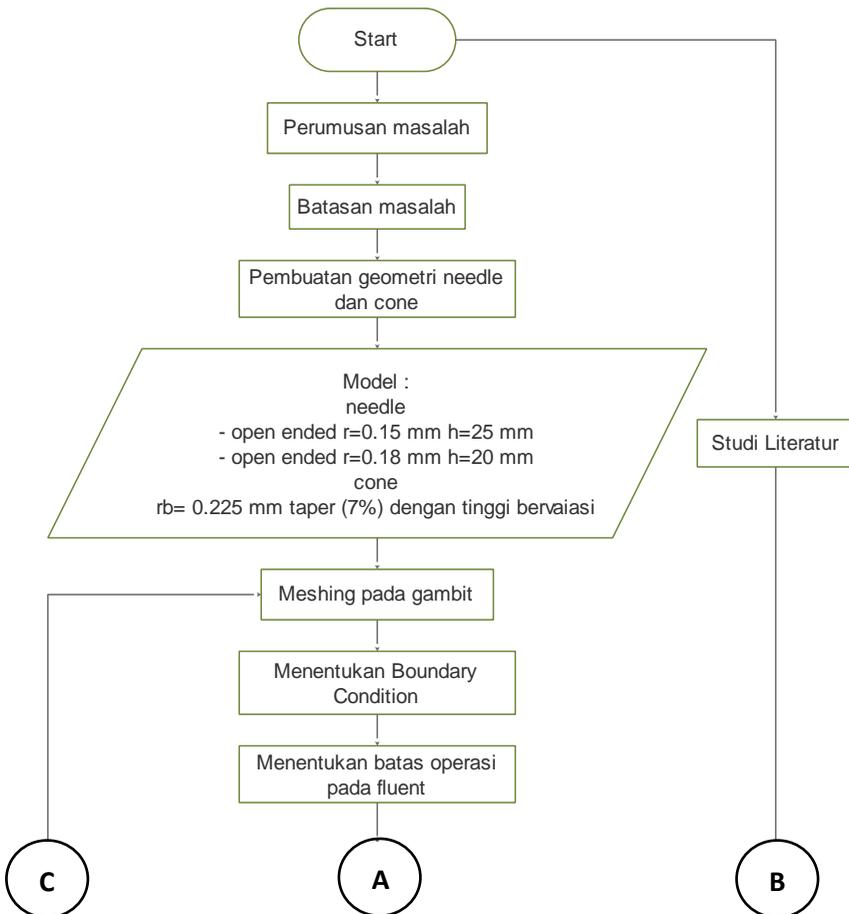


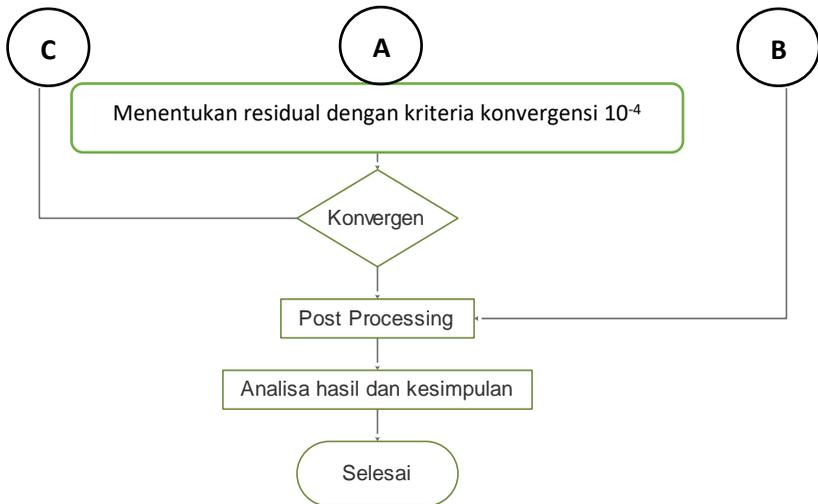
Gambar 3.6 *Grid independency* kecepatan ditinjau pada $y=1\text{mm}$

Dari hasil *grid independency* yang telah dilakukan diperoleh variasi kerapatan *mesh* yang tidak terdapat perubahan secara signifikan yaitu pada variasi *mesh* empat dengan jumlah *mesh nodes* sebesar 580598 nodes.

Selain itu, untuk memperjelas hasil dari *grid independency* dibuatlah suatu profil kecepatan pada $y=1\text{mm}$ terhadap jumlah *mesh*. (gambar 3.6).

3.5 Flowchart Penelitian





(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisa dan pembahasan data hasil simulasi numerik. Data yang diperoleh dari simulasi numerik berupa data aliran secara *incompressible* yang dipresentasikan secara kualitatif dan kuantitatif. Data kuantitatif dipresentasikan dalam bentuk grafik, yaitu grafik profil kecepatan, tegangan geser, dan tekanan dinamis, sedangkan data kualitatif dipresentasikan dalam bentuk visualisasi karakteristik aliran di saluran akar. Visualisasi ini bertujuan untuk memperjelas hasil yang didapatkan dari data kuantitatif, yaitu berupa kecepatan, tegangan geser, dan tekanan yang ditinjau pada kontur, vektor, dan *pathline*. Pemvisualisasian ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak metode komputasi fluida komersial dengan menggunakan pemodelan laminar sesuai dengan penelitian **Boutsoukis dkk** (2010).

Penelitian dilakukan dengan memvariasikan tiga variasi panjang saluran akar untuk tekanan positif dan dua variasi kedalaman untuk tekanan negatif. Kedua metode menggunakan kecepatan 6.63 m/s atau nilai *Reynold number* (*Re*) yang sama yaitu 1376. Metode yang digunakan pada metode tekanan positif yaitu memvariasikan panjang saluran akar yang digunakan yaitu 17.5 mm, 20.5 mm, dan 21 mm serta jarak jarum terhadap ujung saluran akar adalah 2 mm untuk setiap variasi. Sedangkan untuk metode tekanan negatif menggunakan variasi panjang saluran akar yang digunakan yaitu 20.5 mm dan 22.5 mm, tetapi jarum yang dimasukkan kedalam saluran akar adalah 10 mm sehingga jarak antara ujung jarum dengan ujung saluran akar adalah 10.5 mm dan 12.5 mm. Selain itu, membandingkan kedua metode digunakan panjang saluran akar yang sama, yaitu pada panjang saluran akar 20.5 mm.

4.1 Analisa Metode Tekanan Positif

Analisa metode tekanan positif ini akan dijelaskan berupa hasil data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif dipresentasikan dalam bentuk visualisasi aliran dan data kuantitatif dalam bentuk grafik. Visualisasi aliran hasil simulasi numerik berupa tampilan kontur seperti kecepatan, tekanan dinamis, dan tegangan geser dinding. Profil aliran divisualisasikan berupa kontur, vektor, dan *pathline* kecepatan aliran untuk menunjukkan adanya *vortek* atau *backflow* di dalam saluran akar. Sedangkan untuk menunjangnya hasil kualitatif maka disajikan juga data kualitatif berupa grafik yang menunjukkan posisi dan angka.

Pengambilan data yang dilakukan dengan cara memotong searah sumbu $x=0$ sehingga dapat terlihat kontur kecepatan dan tekanan dinamis yang terjadi pada saluran akar. Sedangkan untuk mengambil data tegangan geser pada dinding menggunakan *boundary condition* pada dinding saluran akar yang kemudian di transparasikan hasilnya agar jarum yang terdapat di dalam saluran akar dapat terlihat.

4.1.1 Visualisasi Kontur dan Distribusi Kecepatan

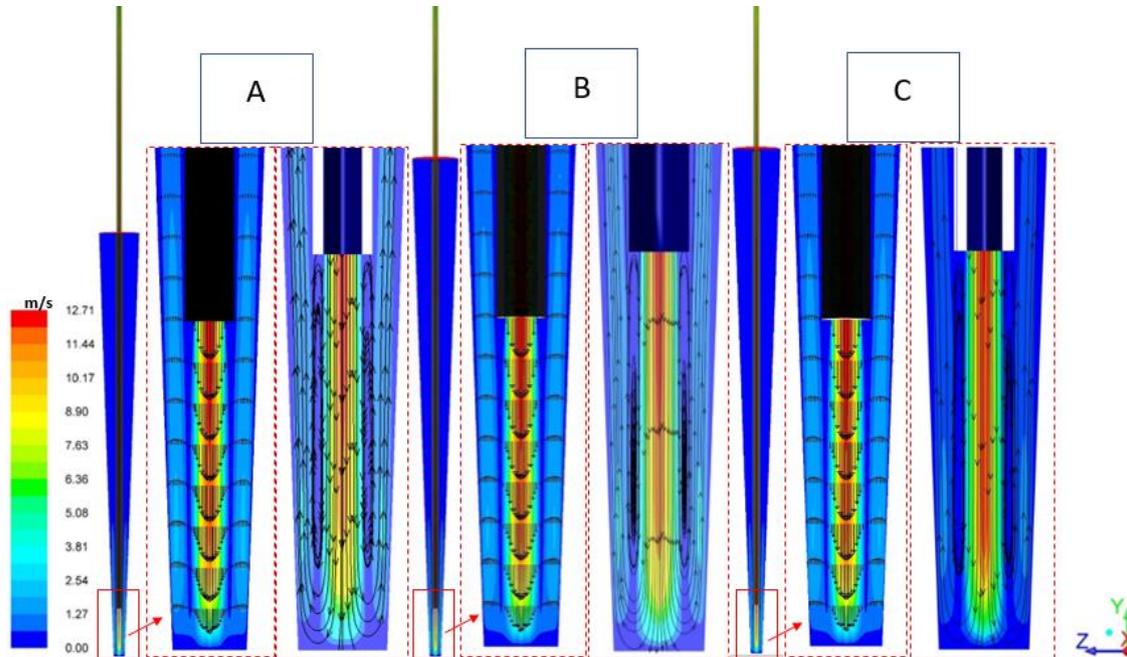
Profil kecepatan aliran yang melalui jarum *open end* dan saluran akar menggunakan metode tekanan positif ditampilkan dalam bentuk visualisasi aliran sehingga dapat terlihat pola suatu aliran yang melewati saluran akar. Selain itu, kontur kecepatan untuk memperjelas daerah-daerah dalam saluran akar yang memiliki pengaruh kuat terhadap terjadinya pertukaran irigan. Pertukaran irigan pada saluran akar terjadi ketika kecepatan fluida irigan lebih besar dari 0.1 m/s dimana debris diasumsikan berbentuk bulat dengan diameter 50 μm .

Distribusi kecepatan pada tekanan positif dengan panjang saluran akar 17.5 mm, 20.5 mm, dan 21 mm adalah sama. Terlihat bahwa distribusi kecepatan yang diambil dalam setiap panjang saluran akar memiliki penambahan kecepatan yang diakibatkan

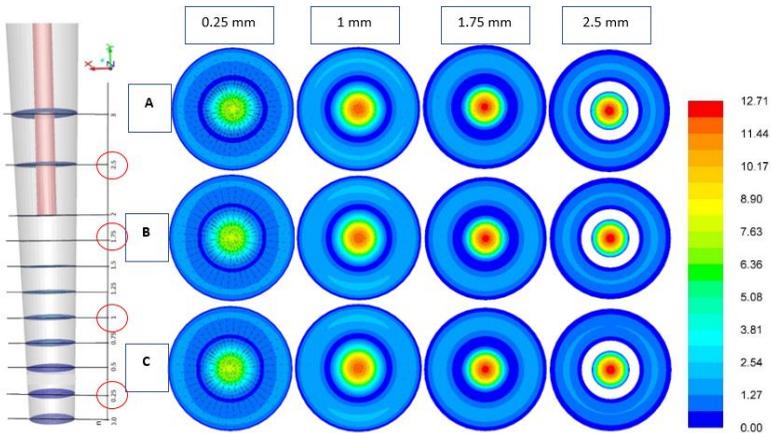
oleh percepatan gravitasi pada jarum. Setelah keluar dari jarum terlihat bahwa penurunan kecepatan sangat signifikan. Hal ini diakibatkan adanya *sudden enlargement* yang secara tiba tiba membesar sehingga menimbulkan penurunan tersebut. Kemudian aliran menuju *apical* atau dasar dari saluran akar dengan kecepatan yang sangat tinggi sehingga terlihat adanya *back flow*. *Back flow* ini terjadi karena fluida berbenturan dengan dinding, sehingga aliran tersebut berbalik arah yang kemudian mengurangi kecepatan dari fluida yang akan menuju ke area tersebut. Ilustrasi *back flow* yang terjadi pada saluran akar terlihat pada gambar 4.1. Terlihat bahwa disetiap saluran akar yang digunakan mempunyai profil kecepatan yang sama. Vektor-vektor kecepatan terlihat bahwa pada daerah dekat dengan dinding mempunyai kecepatan yang rendah, sedangkan yang jauh dari dinding kecepatannya sangat tinggi.

Terlihat bahwa pada bentuk *pathline* dimetode tekanan positif akan terdapat aliran berputar atau vortek. Vortek tersebut terjadi karena adanya perubahan luas penampang yang dilalui oleh fluida secara mendadak. Sehingga terdapat ruangan kosong yang bertekanan lebih kecil sehingga aliran fluida akan berputar pada bagian tersebut. Kontur vortek dapat dilihat pada gambar 4.1.

Perbandingan kecepatan ketiga sampel juga dibandingkan pada potongan-potongan *iso surface* yang dipotong terhadap sumbu y. Terlihat bahwa pada gambar 4.2 terdapat gambar potongan *iso surface* untuk membandingkan kontur kecepatan ketiga sampel pada setiap titik. Titik-titik yang ditampilkan pada pembahasan ini pada titik 0.25 mm, 1 mm, 1.75 mm, dan 2.5 mm dengan kelipatan masing-masing adalah 0.75 mm, sedangkan untuk titik-titik yang lain akan ditampilkan pada halaman lampiran. Ketiga sampel memiliki kecepatan tertinggi sama, yaitu pada 12.71 m/s sehingga perbandingannya menggunakan kecepatan tersebut.



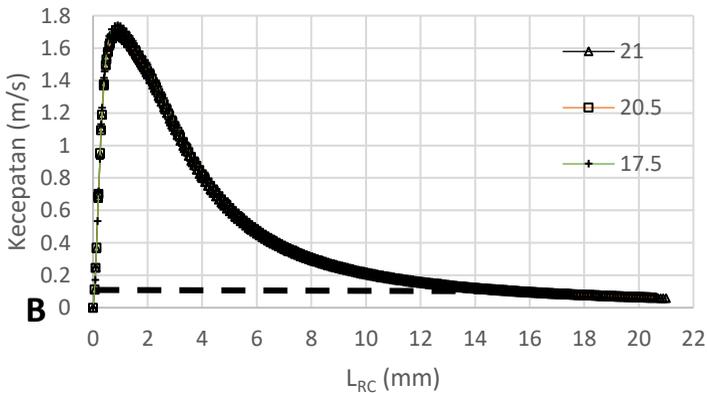
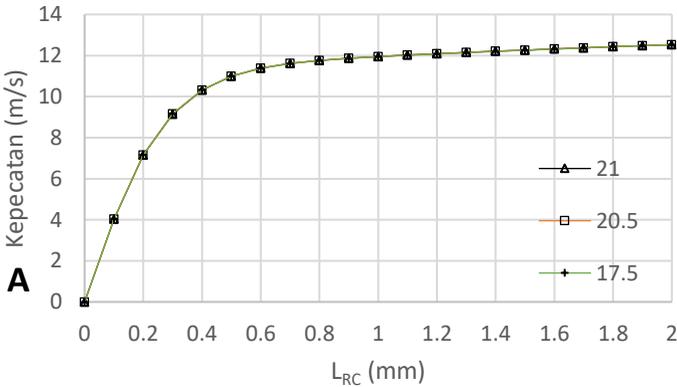
Gambar 4.1 Kontur kecepatan dengan vektor dan *pathline* (a) panjang saluran akar 17.5 mm (b) panjang saluran akar 20.5 mm dan (c) panjang saluran akar 21 mm

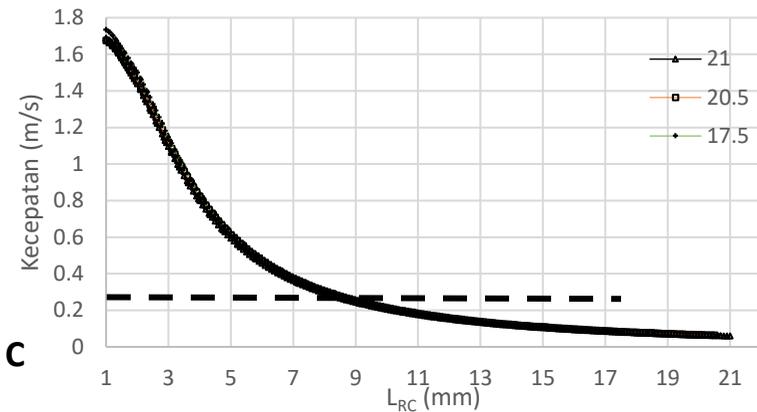


Gambar 4.2 Kontur kecepatan setiap *section* dengan *iso surface* pada sumbu y (a) saluran akar 17.5 mm, (b) saluran akar 20.5 mm dan (c) saluran akar 21 mm

Pada gambar 4.2 terlihat bahwa tampilannya menggunakan kontur kecepatan serta vektor kecepatan pada x dan z vektor sehingga kecepatan terlihat menyebar kesegala arah. Terlihat pada titik 0.25 mm ketiga sempel memiliki vektor kecepatan dan kontur kecepatan yang hampir sama. Ketiga sempel memiliki kontur kecepatan ditengahnya yang sama yaitu berwarna kuning kemudian gradasi hingga biru. Pada bagian tersebut adalah bagian pancaran dari fluida kerja yang mengarah pada dasar saluran akar, sedangkan biru muda yang terluar mengalir ke *outlet* saluran akar. Pada titik 1 mm terlihat bahwa sempel 20.5 mm dan 21 mm memiliki kontur kecepatan yang sama, sedangkan pada 17.5 mm kontur kecepatan ke *outlet* lebih pipih dan memanjang dengan vektor kecepatan yang mulai tidak terlihat atau hanya titik yang menunjukkan bahwa aliran tersebut tidak ada yang menyebar ke sumbu x dan z. Pada titik 1.75 mm terlihat bahwa kontur kecepatan dan vektor kecepatan pada setiap sempel adalah sama, dengan

vektor kecepatan hanya titik-titik saja sedangkan kontur kecepatan pada bagian tengah ke dasar saluran akar dan ada yang ke arah *outlet* saluran akar. Pada kontur kecepatan di titik 2.5 mm terlihat bahwa pada bagian tengah terdapat kontur kecepatan putih. Karena pada bagian tersebut tidak terdapat aliran fluida dan tidak terisi oleh fluida kerja, pada bagian tersebut adalah bagian diameter dalam dan diameter luar saluran akar sehingga tidak terdapat kontur kecepatannya. Sedangkan perbandingan kontur kecepatan pada setiap sempel tidaklah signifikan, karena ketiga sempel memiliki kontur kecepatan dan vektor yang sama pada setiap titikanya.





Gambar 4.3 Grafik distribusi kecepatan pada setiap saluran akar
 (a) Aliran menuju apikal, (b) Aliran meninggalkan saluran akar,
 dan (c) Syarat pertukaran irigan (pengangkatan debris)

Visualisasi aliran fluida pada gambar di atas diperkuat dengan grafik yang ditampilkan pada gambar 4.3. Pada grafik (a) menunjukkan bahwa distribusi kecepatan yang diambil menggunakan *line* pada bagian tengah ujung jarum hingga $y=0$. (b) menunjukkan distribusi kecepatan aliran yang diambil menggunakan *line* dari dasar saluran akar (apikal) hingga *outlet* saluran akar, sedangkan pada (c) menunjukkan perbesaran grafik (b) dengan range yang sudah ditentukan untuk melihat keluaran dari saluran akar.

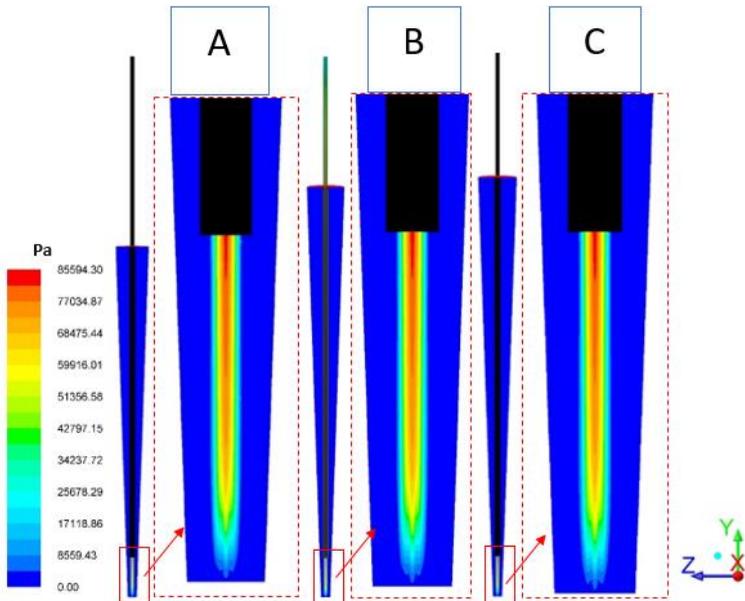
Terlihat bahwa pada grafik (a) aliran dari ujung jarum ke saluran akar dengan kecepatan tinggi kemudian menurun secara tiba-tiba pada titik 0.4 mm hingga dasar saluran akar (apikal). Penurunan secara tiba-tiba ini diakibatkan oleh *backflow* yang terjadi karena fluida kerja menabrak dinding. Dari grafik (a) juga dapat dilihat bahwa aliran pada metode tekanan positif akan sampai ke dasar saluran akar dengan kecepatan yang tinggi. Sedangkan

pada grafik (b) menunjukkan aliran yang berbalik keluar saluran akar. Berbaliknyanya fluida kerja dikarenakan adanya benturan pada dinding saluran akar yang kemudian aliran tersebut berbalik arah. Terlihat bahwa puncak kenaikan kecepatan fluida yang berbalik dengan nilai ± 1.71 m/s untuk setiap sempel yang kemudian aliran turun lagi hingga keluar dari saluran akar. Penurunan tersebut sangatlah signifikan, bahkan penurunan tersebut hanya berjalan 14 mm kecepatannya menjadi 0.1 m/s. Penurunan ini terjadi karena perubahan luaspenampang yang dialiri oleh fluida kerja. Selain itu, fluida kerja melawan arah gravitasi bumi sehingga kecepatannya semakin lama semakin menurun. Sedangkan pada grafik (c) terlihat bahwa tidak ada yang memenuhi syarat pertukaran irigan atau pengangkutan debris hingga keluar saluran akar.

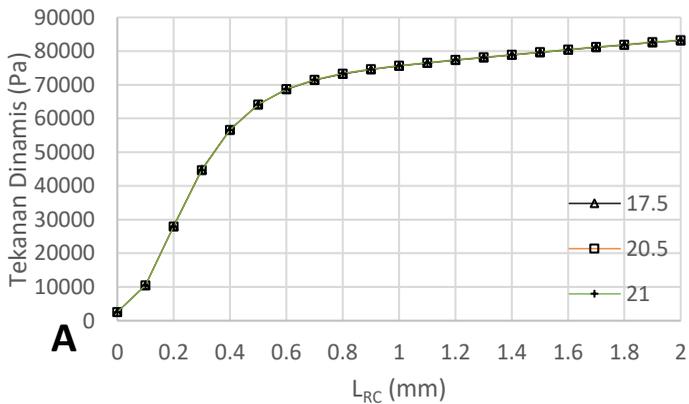
4.1.2 Visualisasi Kontur dan Distribusi Tekanan Dinamis

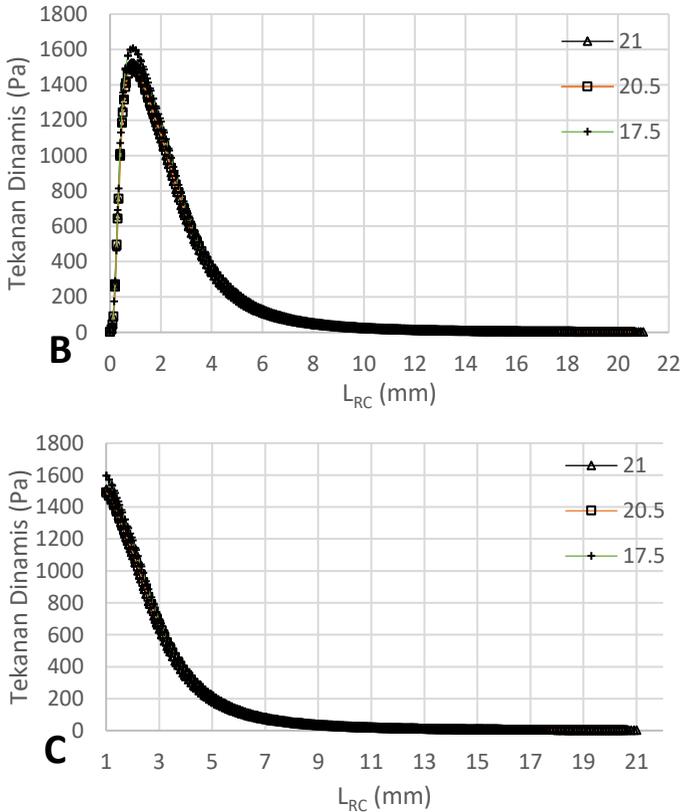
Kontur tekanan dinamis pada saluran akar digunakan untuk menentukan layak tidaknya metode tersebut digunakan, karena jika tekanan dinamis yang menabrak pada dasar saluran akar atau *apical* itu terlalu besar maka akan terjadi kecelakaan yang dapat berakibat fatal pada manusia. Selain itu, tekanan dinamis akan berbanding lurus dengan hasil dari tegangan geser dinding.

Distribusi tekanan dinamis pada metode tekanan positif dengan panjang saluran akar 17.5 mm, 20.5 mm, dan 21 mm serta penempatan jarum 2 mm dari ujung saluran akar untuk setiap metode adalah sama. Terlihat bahwa distribusi tekanan dinamis yang diambil dalam setiap saluran akar memiliki nilai tertinggi yaitu 85594.30 Pascal atau 85.594 kPa. Selain itu, hasil rata-rata tekanan dinamis pada bagian dasar saluran akar adalah 581.9733 Pa. Nilai tersebut didapat menggunakan fitur yang ada pada perangkat lunak metode komputasi fluida CFD komersial yaitu *Facet Average* yang di tempatkan pada dasar saluran akar atau $y=0$. Ilustrasi gambar dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.4 Visualisasi kontur tekanan dinamis pada metode tekanan positif (a) saluran akar 17.5 mm (b) saluran akar 20.5 mm dan (c) saluran akar 21 mm





Gambar 4.5 Grafik tekanan dinamis pada setiap panjang saluran akar (a) Tekanan dinamis dari ujung jarum sampai ujung saluran akar, (b) dari apikal keluar saluran akar, dan (c) perbesaran grafik (b)

Visualisasi tekanan dinamis fluida pada gambar di atas diperkuat dengan grafik yang ditampilkan pada gambar 4.5. Pada grafik (a) menunjukkan bahwa distribusi tekanan dinamis yang diambil menggunakan *line* pada bagian tengah ujung jarum hingga $y=0$. (b) menunjukkan distribusi tekanan dinamis aliran yang

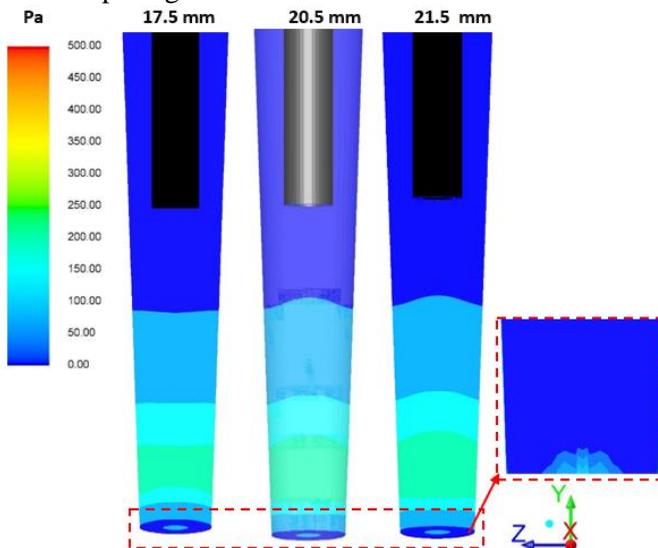
diambil menggunakan *line* dari dasar saluran akar (apikal) hingga *outlet* saluran akar, sedangkan pada (c) menunjukkan perbesaran grafik (b) dengan range yang sudah ditentukan untuk melihat tekanan dinamis yang keluar dari saluran akar.

Terlihat bahwa pada grafik (a) aliran dari ujung jarum ke saluran akar dengan tekanan dinamis tinggi kemudian menurun secara tiba-tiba pada titik 0.6 mm hingga dasar saluran akar (apikal). Penurunan secara tiba-tiba ini diakibatkan oleh *backflow* yang terjadi karena fluida kerja menabrak dinding. Dari grafik (a) juga terlihat bahwa tekanan dinamis pada metode tekanan positif akan selalu sampai ke dasar saluran akar dengan nilai tekanan dinamis yang besar. Hal ini akan dapat mengakibatkan kecelakaan yang dapat membahayakan orang. Sedangkan pada grafik (b) memperlihatkan bahwa tekanan dinamis yang berbalik ke arah *outlet* sangatlah kecil jika dibandingkan dengan yang menabrak dinding sebelumnya. Hal ini dikarenakan tekanan dinamis terhalang oleh dinding sehingga mengakibatkan penurunan nilai tekanan dinamis. Penurunan pada titik 1 mm dari apikal sebelumnya adalah ± 78 ribu Pa kemudian setelah berbenturan dengan dinding tekanan dinamis tersebut turun menjadi ± 1600 Pa. Selain itu, grafik (b) menunjukkan bahwa pada dasar saluran akar tekanan dinamis sangat kecil, tetapi setelah berjarak 0.5 mm dari dasar saluran akar kenaikannya sangat tinggi hingga titik puncaknya terjadi pada 1 mm dari apikal. Sedangkan grafik (c) menunjukkan distribusi tekanan dinamis yang keluar dari saluran akar menuju *outlet*. Terlihat bahwa penurunan tekanan dinamis sangat signifikan hingga mendekati 0 pada keluaran. Sedangkan perbandingan antara ketiga sempel memiliki garis yang berhimpitan sehingga tidak ada perubahan signifikan dengan variasi panjang saluran akar.

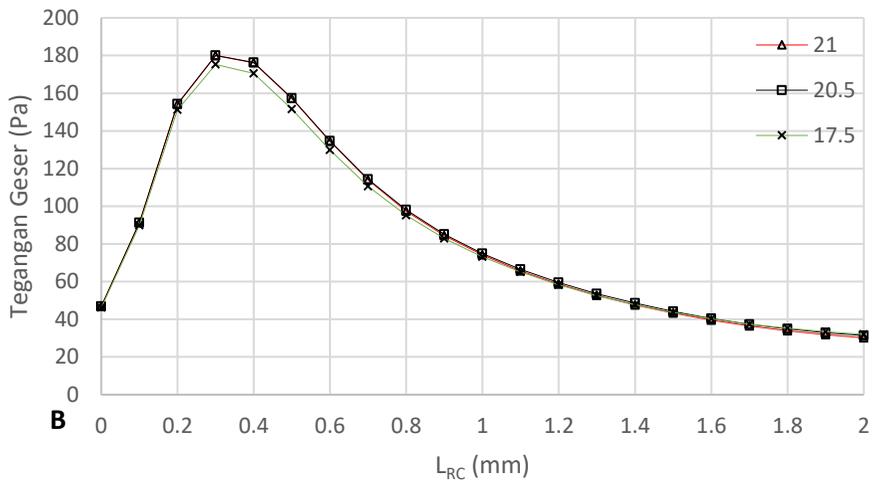
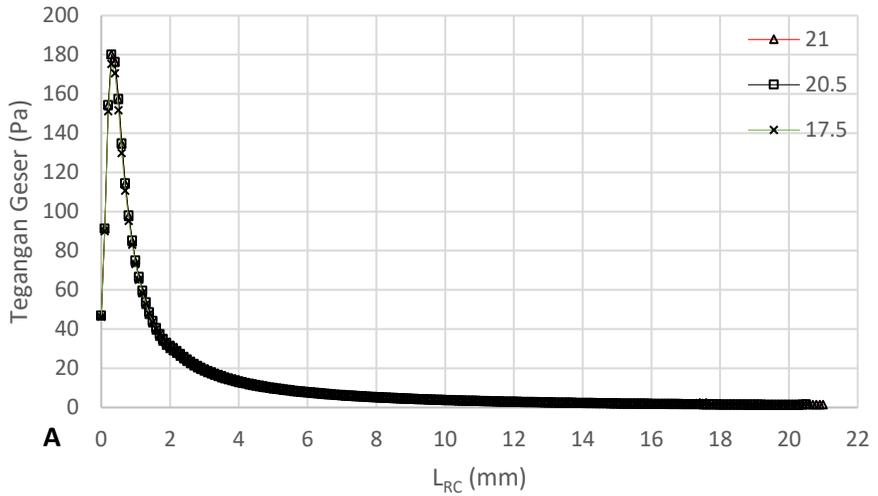
4.1.3 Visualisasi Kontur dan Distribusi Tegangan Geser Dinding

Kontur tegangan geser yang terjadi pada saluran akar berguna untuk melihat seberapa besar gesekan yang terjadi antara fluida dengan dinding saluran akar. Tegangan geser mengakibatkan turunnya kecepatan fluida sehingga fluida tersebut tidak dapat membawa debris hingga ke puncak saluran akar.

Distribusi tegangan geser pada metode tekanan positif dengan panjang saluran akar 17.5 mm, 20.5 mm, dan 21 mm adalah sama. Terlihat bahwa distribusi tegangan geser yang besar terdapat pada daerah apikal dikarenakan *backflow* yang terjadi pada daerah tersebut. Karena fluida berbenturan dengan dinding, hal tersebut menyebabkan tegangan geser. Penurunan nilai tegangan geser bergradasi dari bagian paling bawah menuju ke bagian atas. Pada saluran akar bagian atas tegangan geser tersebut bernilai sangat kecil terlihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Visualisasi kontur tegangan geser yang terjadi pada metode tekanan positif



Gambar 4.7 Grafik tegangan geser yang terjadi pada setiap saluran akar (a) seluruh saluran akar dan (b) pada daerah ujung jarum hingga dasar saluran akar

Visualisasi tegangan geser pada gambar di atas diperkuat dengan grafik yang ditampilkan pada gambar 4.7. Pada grafik (a) menunjukkan bahwa distribusi yang diambil menggunakan *line* pada bagian dinding saluran akar sedangkan (b) menunjukkan distribusi tegangan geser yang terjadi pada area antara jarum dengan dasar saluran akar.

Terlihat bahwa pada grafik (a) menunjukkan bahwa tegangan geser yang terjadi pada daerah dinding saluran akar dari dasar saluran akar hingga *outlet* saluran akar. Terlihat bahwa distribusi tegangan geser pada dinding saluran akar terjadi pada daerah dasar saluran akar saja, kemudian gradasi menurun hingga pada outlet saluran akar mendekati 0 Pa. Hal tersebut sangat berhubungan dengan visualisasinya. Terlihat bahwa kontur tegangan geser hanya terjadi pada bagian dasar saluran akar saja. Selain itu, dengan bentuk grafik tersebut berarti bahwa tegangan geser terjadi pada bagian dengan kecepatan yang besar sehingga kecepatan dan tegangan geser berbanding lurus. Sedangkan pada grafik (b) terlihat bahwa titik puncak tegangan geser terjadi pada titik 0.4 mm dan kemudian turun penurunan terjadi sangat signifikan hingga pada 2 mm dari dasar saluran akar menjadi 40 Pa.

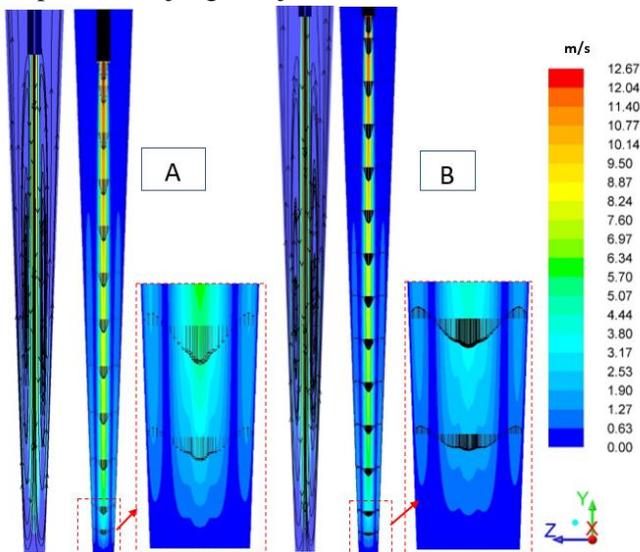
4.2 Analisa Metode Tekanan Negatif

Analisa metode tekanan negatif ini akan dijelaskan berupa hasil data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif dipresentasikan dalam bentuk visualisasi aliran dan data kuantitatif dalam bentuk grafik. Visualisasi aliran hasil simulasi numerik berupa tampilan kontur seperti kecepatan, tekanan dinamis, dan tegangan geser dinding. Profil aliran divisualisasikan berupa kontur, vektor, dan *pathline* kecepatan aliran untuk menunjukkan adanya *vortek* atau *backflow* di dalam saluran akar. Sedangkan untuk menunjangnya hasil kualitatif maka disajikan juga data kualitatif berupa grafik yang menunjukkan posisi dan angka.

4.2.1 Visualisasi Kontur dan Distribusi Kecepatan

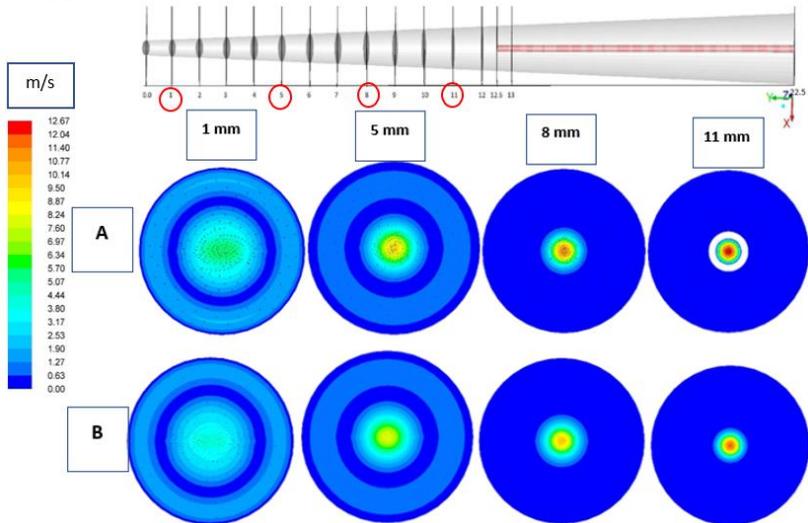
Secara umum distribusi kecepatan pada tekanan negatif lebih cenderung berdistribusi merata pada saluran akar. Hal ini terjadi karena jarak antara apikal dengan ujung jarum yang begitu jauh, sehingga tidak terjadi tabrakan dengan dinding pada kecepatan tinggi yang berakibat pada bagian ujung saluran akar tidak terkena terlalu deras. Selain itu, aliran balik terjadi pada metode tekanan negatif lebih panjang daripada metode tekanan positif. Hal tersebut diilustrasikan pada gambar 4.7.

Berdasarkan gambar 4.8 yang ditinjau dari sisi mekanika fluidanya, aliran tersebut terbentuk karena adanya perbedaan luas penampang yang dialiri secara mendadak atau *sudden enlargement* hal ini menimbulkan adanya aliran memutar pada bagian luar. Aliran terlihat pada bagian *pathline*, vortek tersebut di sepanjang antara apikal dan ujung dari jarum.



Gambar 4.8 Kontur kecepatan dengan vektor dan *pathline* metode tekanan negatif (a) panjang saluran akar 20.5 mm (b) panjang saluran akar 22.5 mm

Perbandingan kecepatan kedua sampel juga dibandingkan pada potongan-potongan *iso surface* yang dipotong terhadap sumbu y. Terlihat bahwa pada gambar 4.9 terdapat gambar potongan *iso surface* untuk membandingkan kontur kecepatan ketiga sampel pada setiap titik. Titik-titik yang ditampilkan pada pembahasan ini pada titik 1 mm, 5 mm, 8 mm, dan 11 mm, sedangkan untuk titik-titik yang lain akan ditampilkan pada halaman lampiran. Ketiga sampel memiliki kecepatan tertinggi sama, yaitu pada 12.67 m/s sehingga perbandingannya menggunakan kecepatan tersebut.

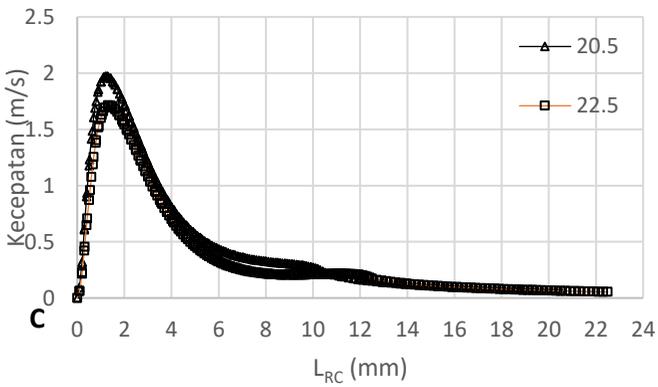
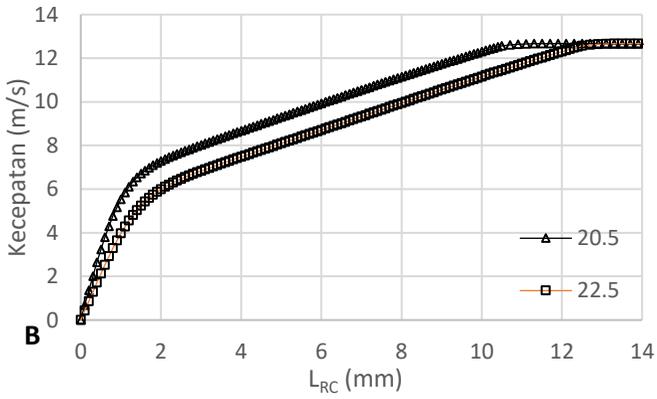
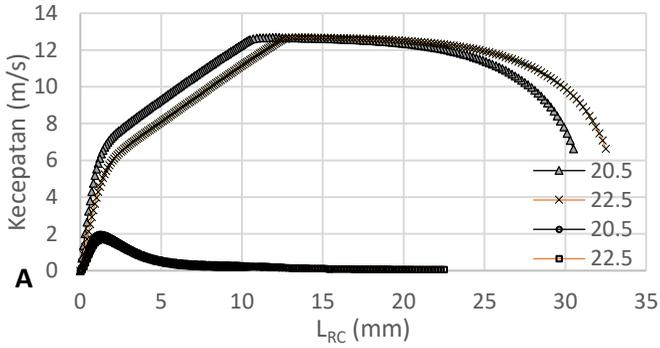


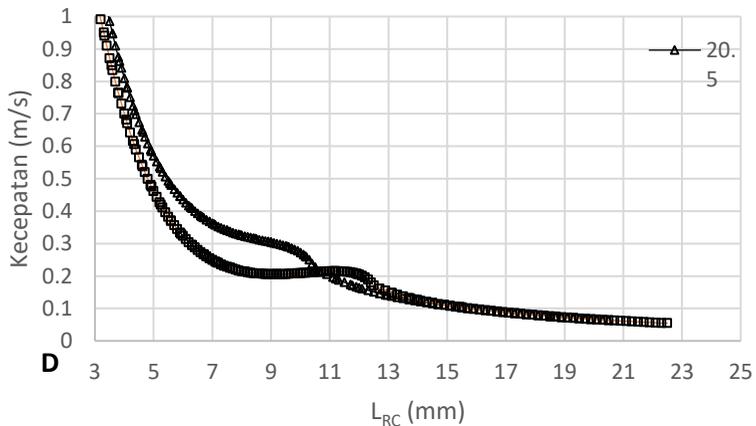
Gambar 4.9 Kontur kecepatan setiap *section* dengan *iso surface* pada sumbu y (a) saluran akar 20.5 mm dan (b) saluran akar 22.5 mm

Pada gambar 4.9 terlihat bahwa tampilannya menggunakan kontur kecepatan serta vektor kecepatan pada x dan z vektor sehingga kecepatan terlihat menyebar kesegala arah. Terlihat bahwa pada titik 1 mm kontur kecepatan pada variasi saluran akar 22.5 mm lebih

rendah daripada kontur kecepatan pada saluran akar 20.5 mm. Terlihat bahwa pada saluran akar 20.5 mm bagian tengah atau bagian yang mengalir ke arah dasar apikal memiliki kontur hijau lalu bergradasi hingga biru muda dan biru tua, sedangkan pada saluran akar 22.5 mm warna kontur biru muda yang bergradasi hingga biru tua. Selain itu pada bagian keluar saluran akar kontur kecepatannya juga lebih besar pada saluran akar 20.5 mm terlihat pada bagian aliran terluar masih memiliki kontur biru muda yang menunjukkan bahwa aliran pada bagian tersebut lebih besar. Kemudian pada titik 5 mm terlihat bahwa terdapat perbedaan pada bagian kontur aliran yang menuju ke dasar saluran akar. Pada kontur kecepatan variasi saluran akar 20.5 mm memiliki kontur berwarna coklat pada bagian tengah sedangkan pada variasi 22.5 mm hanya berwarna kuning. Hal tersebut juga terjadi pada setiap titik yang diambil, pada titik 8 kontur 20.5 mm memiliki kontur warna coklat tua, sedangkan pada kontur kecepatan 22.5 mm hanya memiliki kontur warna coklat muda. Pada titik 11 mm terlihat bahwa terdapat kontur putih atau tidak terdapat pada skala warna yang ada. hal tersebut diakibatkan karena pada titik tersebut terdapat jarum yang memiliki diameter luar sehingga pada bagian tersebut tidak memiliki kontur. Perbedaan variasi saluran akar sangat signifikan mempengaruhi kecepatan yang ada pada *section* saluran akar.

Perbedaan panjang saluran yang digunakan pada simulasi ini berakibat pada distribusi kecepatan yang terjadi. Distribusi kecepatan yang sampai apikal akan lebih rendah daripada yang yang terjadi pada saluran akar 20.5 mm. ilustrasi gambar dapat dilihat pada gambar 4.10, pada gambar grafik tersebut kecepatan aliran menurun drastis pada 2 mm dari dasar saluran akar. Kecepatan pada 2 mm dari dasar saluran akar untuk variasi 20.5 mm adalah 7.5 m/s, sedangkan variasi 22.5 mm adalah 6 m/s. Kemudian kecepatan tersebut menurun dengan signifikan hingga berbenturan dengan apikal.





Gambar 4.10 Grafik distribusi kecepatan pada metode tekanan negatif (a) aliran menuju apikal dan keluar *outlet* (b) aliran dari ujung jarum ke apikal, (c) aliran dari apikal menuju *outlet* saluran akar, dan (d) perbesaran yang menuju ke *outlet* saluran akar

Visualisasi aliran fluida pada gambar di atas diperkuat dengan grafik yang ditampilkan pada gambar 4.10. Pada grafik (a) menunjukkan bahwa distribusi kecepatan yang diambil menggunakan *line* pada bagian tengah ujung jarum hingga $y=0$ dan dari dasar apikal keluar saluran akar. (b) menunjukkan distribusi kecepatan aliran dari ujung jarum hingga dasar saluran akar atau apikal, (c) menunjukkan distribusi kecepatan dasar saluran akar hingga ke *outlet* saluran akar, sedangkan pada (d) menunjukkan perbesaran grafik (c) dengan range yang sudah ditentukan untuk melihat keluaran dari saluran akar.

Grafik pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa metode tekanan negatif dengan variasi panjang saluran akar yang digunakan dan pemasukan jarum ke saluran akar sepanjang 10 mm akan selalu sampai ke dasar saluran akar atau apikal. Terlihat pada titik 0 pada grafik adalah dasar saluran akar dan 20.5 mm serta 22.5 mm adalah

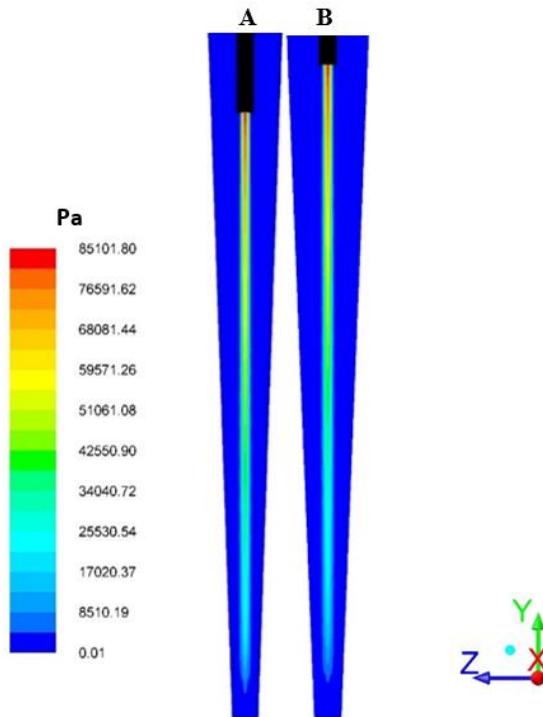
panjang saluran akar yang digunakan. Pada grafik 20.5 mm terlihat kecepatannya mulai menurun dari jarak 10.5 mm dari dasar saluran akar, sedangkan pada grafik 22.5 mm kecepatannya menurun dari 12.5 mm. Hal ini terjadi karena pada titik tersebut adalah letak dari jarum sehingga aliran yang sebelumnya melewati luas penampang aliran yang besar kemudian membesar dengan drastis atau *sudden enlargement*. Kemudian aliran tersebut menurun hingga menabrak dinding saluran akar dan kembali naik hingga ketinggian tertentu.

Dengan syarat pengangkatan debris adalah 0.1 m/s (**Boutsioukis dkk 2010**) hal ini tidak bisa di capai oleh metode tekanan negatif. Karena terlihat pada grafik sebelah kanan, kedua metode tidak dapat membawa hingga keluar saluran akar. 0.1 m/s hanya dapat sampai titik 19 mm, sehingga harus menggunakan penghisapan yang bertujuan mengangkat semua fluida yang ada di saluran akar beserta debris yang telah mengambang.

4.2.2 Visualisasi Kontur dan Distribusi Tekanan Dinamis

Kontur tekanan dinamis pada saluran akar digunakan untuk menentukan layak tidaknya metode tersebut digunakan, karena jika tekanan dinamis yang menabrak pada dasar saluran akar atau *apical* itu terlalu besar maka akan terjadi kecelakaan yang dapat berakibat fatal pada manusia. Selain itu, tekanan dinamis akan berbanding lurus dengan hasil dari tegangan geser dinding.

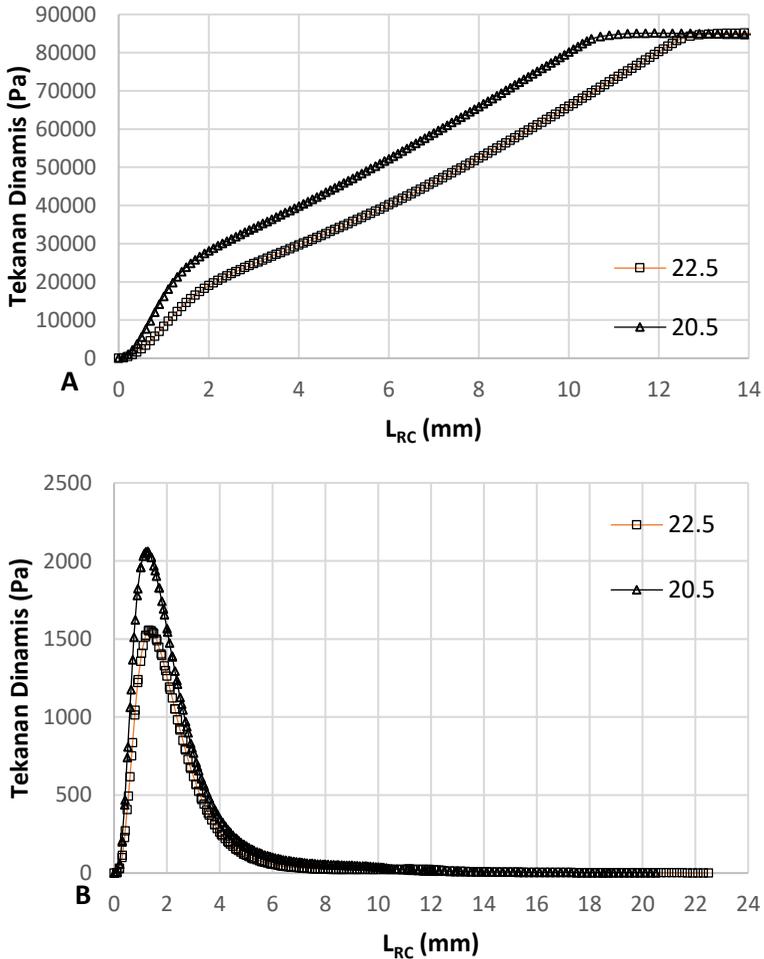
Secara umum distribusi tekanan dinamis pada tekanan negatif lebih berdistribusi merata pada saluran akar. Hal ini disebabkan adanya jarak apikal dengan ujung jarum yang begitu jauh sehingga tidak terjadi tabrakan dengan dinding dengan tekanan yang tinggi. Kontur dari tekanan dinamis ini sendiri mirip dengan kontur kecepatan. Tekanan dinamis ini terjadi karena adanya fluida yang mengalir dengan kecepatan yang tinggi. Visualisasi ditunjukkan pada gambar 4.11 serta grafik ditunjukkan pada gambar 4.12.



Gambar 4.11 Visualisasi kontur tekanan dinamis pada metode tekanan negatif (a) saluran akar 20.5 mm dan (b) saluran akar 22.5 mm

Distribusi tekanan dinamis pada metode tekanan negatif dengan panjang saluran akar 20.5 mm dan 22.5 mm dengan jarum dimasukkan kedalam saluran akar hanya 10 mm dari *outlet* saluran akar adalah hampir sama. Terlihat bahwa distribusi tekanan dinamis yang diambil dalam setiap saluran akar memiliki nilai tertinggi yaitu 85101.80 Pascal atau 85.102 kPa. Selain itu, hasil rata-rata tekanan dinamis pada bagian dasar saluran akar adalah 40 Pa. Nilai tersebut didapat menggunakan fitur yang ada pada perangkat lunak CFD komersial yaitu *Facet Average* yang di

tempatkan pada dasar saluran akar atau $y=0$. Namun, perbedaan tersebut tetap terjadi, perbedaan ini terjadi pada grafik pada gambar 4.12.



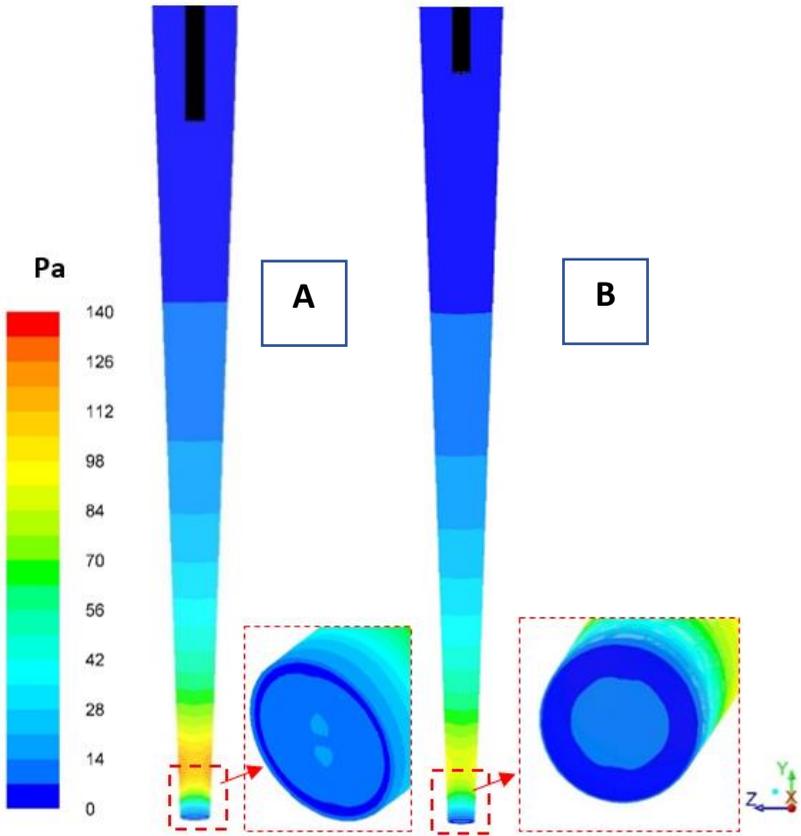
Gambar 4.12 Grafik tekanan dinamis pada metode tekanan negatif (a) pada keluaran jarum hingga ke apikal dan (b) dari dasar saluran akar hingga ke *outlet* saluran akar

Visualisasi tekanan dinamis fluida pada gambar di atas diperkuat dengan grafik yang ditampilkan pada gambar 4.12. Pada grafik (a) menunjukkan bahwa distribusi tekanan dinamis yang diambil menggunakan *line* pada bagian tengah ujung jarum hingga $y=0$, (b) menunjukkan distribusi tekanan dinamis aliran yang diambil menggunakan *line* dari dasar saluran akar (apikal) hingga *outlet* saluran akar.

Terlihat bahwa pada grafik (a) tekanan dinamis dari ujung jarum ke saluran akar dengan nilai yang tinggi pada keluaran jarum yang kemudian semakin menurun hingga kedasar saluran akar. Hal tersebut terjadi karena jarak antara ujung jarum dengan dasar saluran akar yang jauh. Selain itu, pada area mendekati dasar saluran akar (*wall*) terjadi penurunan secara signifikan pada sampel 20.5 mm yang terletak pada titik ± 1 mm dari apikal, sedangkan pada sampel 22.5 mm tidak ada penurunan secara signifikan. Kemudian, dari grafik (a) juga dapat dilihat bahwa pada grafik tersebut sampel 22.5 mm terjadi penurunan terlebih dahulu karena letak ujung jarum yang berbeda. Pada sampel 20.5 mm ujung jarum terletak pada 10.5 mm sedangkan pada sampel 22.5 mm terletak pada 12.5 mm. Pada grafik (b) menunjukkan bahwa pada distribusi tekanan dinamis mengalir dari dasar saluran akar atau (0mm) hingga ke *outlet* (20.5 mm dan 22.5 mm). pada grafik tersebut terlihat bahwa sampel 22.5 mm memiliki titik puncak lebih kecil daripada sampel 20.5 mm. Hal ini disebabkan oleh tekanan dinamis yang dari grafik (a) lebih besar sampel 20.5 mm karena penempatan jarum lebih dekat daripada sampel 22.5 mm. Kenaikan kedua sampel sangat signifikan dari jarak 0 mm hingga ± 1 mm dengan nilai puncak pada sampel 22.5 adalah 1500 Pa sedangkan pada sampel 20.5 mencapai 2000 Pa. Setelah mencapai titik puncak, tekanan dinamis tersebut kembali turun hingga mencapai mendekati 0 Pa, hal tersebut dikarenakan perubahan luas penampang dan melambatnya kecepatan yang terjadi di area tersebut.

4.2.3 Visualisasi Kontur dan Distribusi Tegangan Geser Dinding

Kontur tegangan geser yang terjadi pada saluran akar berguna untuk melihat seberapa besar gesekan yang terjadi antara fluida dengan dinding saluran akar. Tegangan geser mengakibatkan turunnya kecepatan fluida sehingga fluida tersebut tidak dapat membawa debris hingga ke puncak saluran akar.



Gambar 4.13 Visualisasi kontur tegangan geser yang terjadi pada metode tekanan negatif (a) saluran akar 20.5 mm dan (b) saluran akar 22.5 mm

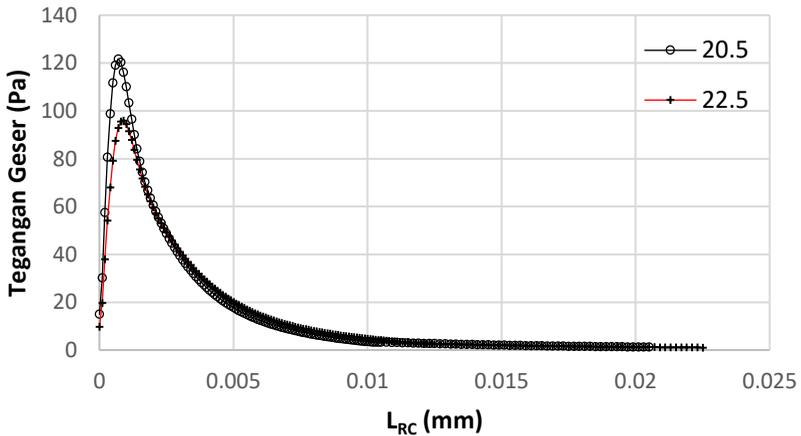
Distribusi tegangan geser pada metode tekanan negatif dengan panjang saluran akar 20.5 mm dan 22.5 mm adalah sama. Terlihat bahwa distribusi tegangan geser yang besar terdapat pada daerah apikal dikarenakan *backflow* yang terjadi pada daerah tersebut. Karena fluida berbenturan dengan dinding, hal tersebut menyebabkan tegangan geser. Penurunan nilai tegangan geser bergradasi dari bagian paling bawah menuju ke bagian atas. Pada saluran akar bagian atas tegangan geser tersebut bernilai sangat kecil terlihat pada gambar 4.13. Pengambilan pada tegangan geser ini dilakukan pada dinding saluran akar yang kemudian di transparasikan agar jarum juga terlihat. Sedangkan skala nilai tegangan geser yang digunakan pada saluran akar ini mengambil yang tertinggi dari simulasi 2 variasi ini. Sehingga didapatkan nilai 140 Pa untuk nilai pembandingnya.

Pada variasi panjang saluran akar 20.5 mm terlihat untuk skala tegangan geser 140 Pa masih memiliki kontur berwarna oranye sehingga pada bagian tersebut nilainya adalah yang tertinggi dan mendekati 140 Pa. Sedangkan pada variasi 22.5 mm hanya berwarna kuning sehingga tegangan geser yang terjadi pada saluran akar 22.5 mm lebih kecil daripada variasi 20.5 mm. Selain itu, perbedaan antara keduanya juga terjadi pada bagian bawah saluran akar atau dinding apikal. Pada variasi saluran akar 20.5 mm lebih banyak berbenturan dengan dinding apikal daripada variasi 22.5 mm.

Selain dari segi visualisasi, distribusi tegangan geser juga ditampilkan dalam bentuk grafik. Terlihat bahwa distribusi tegangan geser terletak pada bagian 0 atau apikal kemudian seiring dengan menaiknya saluran akar tegangan geser semakin menurun. Tegangan geser tersebut terbentuk karena adanya *backflow* atau aliran fluida menabrak dinding yang mengakibatkan kecepatannya menurun. Terlihat pada grafik 4.14.

Pada grafik 4.14 menguatkan perbedaan-perbedaan yang terjadi antara kedua variasi yang digunakan. Perbedaan pertama

pada grafik a atau variasi 20.5 memiliki titik puncak nilai tegangan geser adalah ± 122 Pa, sedangkan pada grafik b atau variasi 22.5 mm titik puncak nilai tegangan geser adalah ± 98 Pa sehingga kontur kecepatan pada gambar 4.13 memiliki perbedaan-perbedaan tersebut. Selain itu penempatan jarum terlihat pada variasi a pada jarak 10.5 mm sedangkan variasi b pada jarak 12.5 mm sehingga terdapat titik-titik nilai tegangan geser pada daerah tersebut.

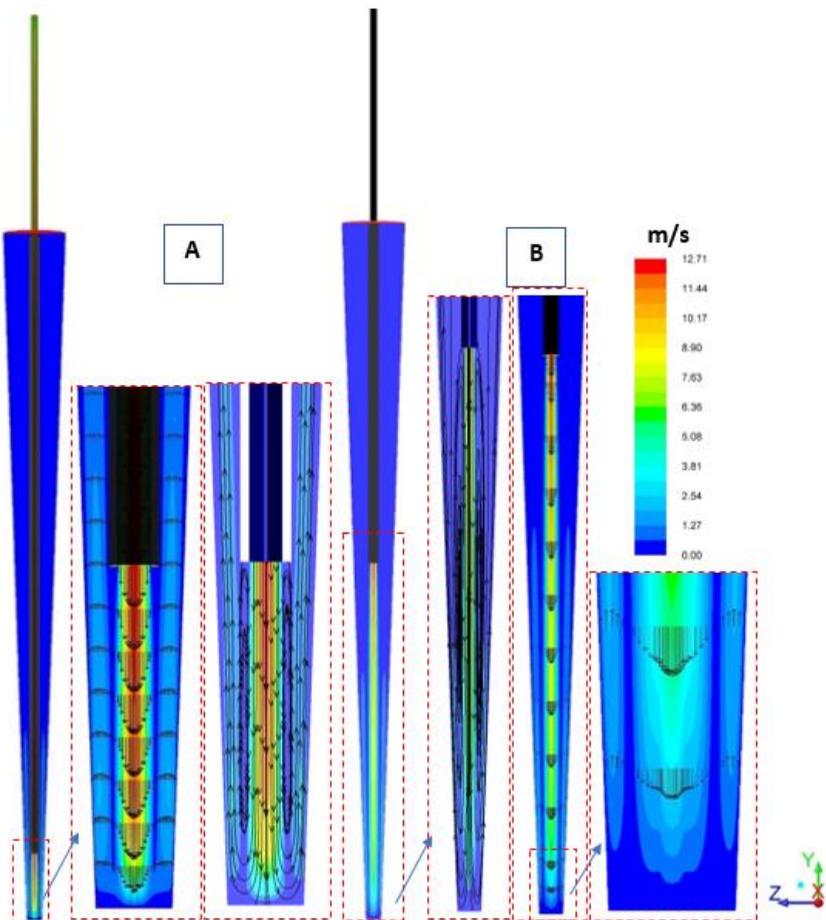


Gambar 4.14 Grafik distribusi tegangan geser pada metode tekanan negatif (a) panjang saluran akar 20.5 mm dan (b) panjang saluran akar 22.5 mm

4.3 Perbandingan Metode Tekanan Positif dan Tekanan Negatif

4.3.1 Perbandingan Distribusi Kecepatan

Perbedaan antara kedua metode terdapat pada penempatan jarak jarum terhadap apikal, dan pada *outlet*nya. Pada *outlet* metode tekanan positif dibiarkan dengan mengalir tumpah keluar dengan sendirinya, akan tetapi pada metode tekanan negatif fluida yang disemprotkan ke dalam saluran akar langsung dihisap oleh sebuah pompa dengan tekanan -20 kPa.

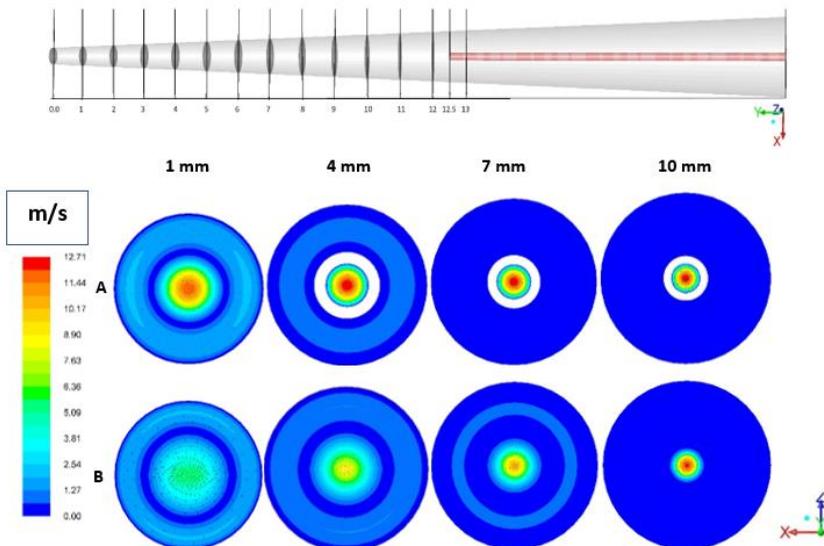


Gambar 4.15 Perbandingan kontur kecepatan dengan vektor dan *pathline* (a) metode tekanan positif dan (b) metode tekanan negatif

Perbedaan metode yang digunakan tersebut mengakibatkan perbedaan banyak hal, seperti vortek, panjang aliran balik, dan distribusi kecepatannya. Pada metode tekanan positif terlihat bahwa fluida membentur apikal dengan kecepatan yang sangat besar sehingga aliran berbalik. Lalu panjang vortek yang terbentuk

pada metode tekanan positif lebih pendek dan melebar hal ini disebabkan oleh perbedaan luas penampang atau *sudden enlargement* yang lebih kecil daripada metode tekanan negatif. Selain itu, panjang aliran balik yang terdapat pada metode tekanan positif memang hanya dapat sampai 6 mm dari apikal.

Pada metode tekanan negatif lebih baik dalam halnya seperti distribusi kecepatannya sama-sama hingga apikal, akan tetapi pada daerah apikal kecepatannya ± 1 m/s sehingga dapat mengangkat debris sisa pengeboran dengan kecepatan tersebut. Karena kecepatan minimum yang dapat menggerakkan debris adalah 0.1 m/s (**Boutsioukis 2010**). Selain itu, vortek yang terbentuk lebih panjang yaitu sepanjang antara ujung jarum dengan dasar saluran akar. Vortek tersebut berbentuk pipih dan berputar, serta berada diantara aliran yang ke dasar saluran akar dan yang menuju saluran akar. Ilustrasi vortek dapat dilihat pada gambar 4.15



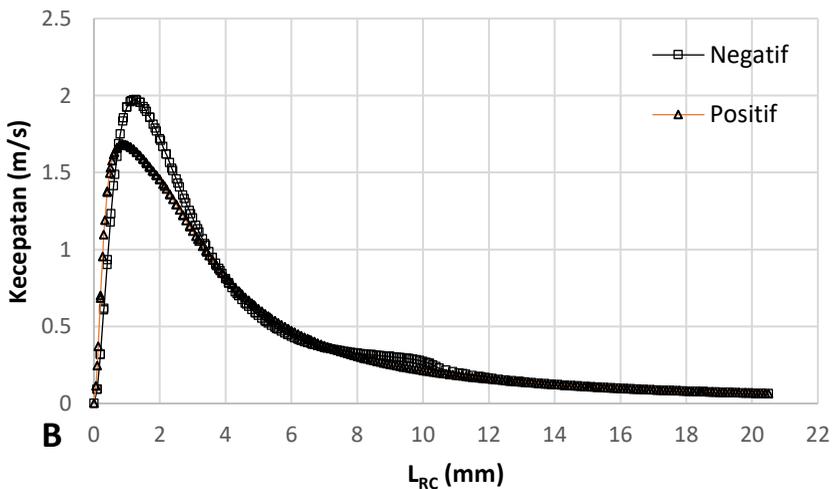
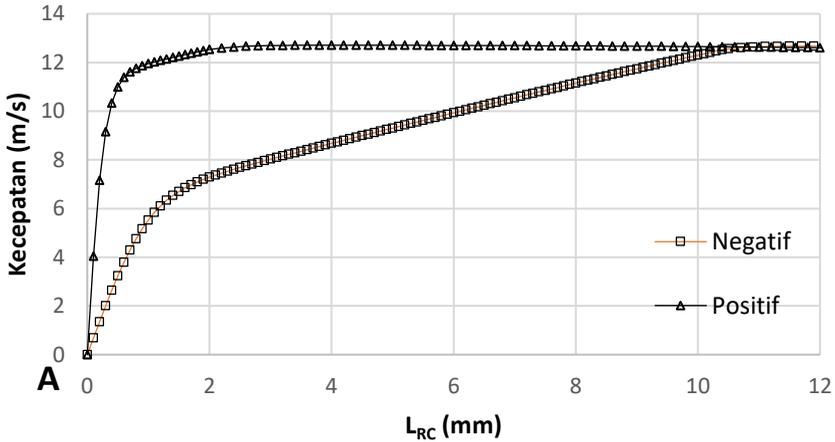
Gambar 4.16 Visualisasi kontur kecepatan setiap *section* (a) metode tekanan positif dan (b) metode tekanan negatif

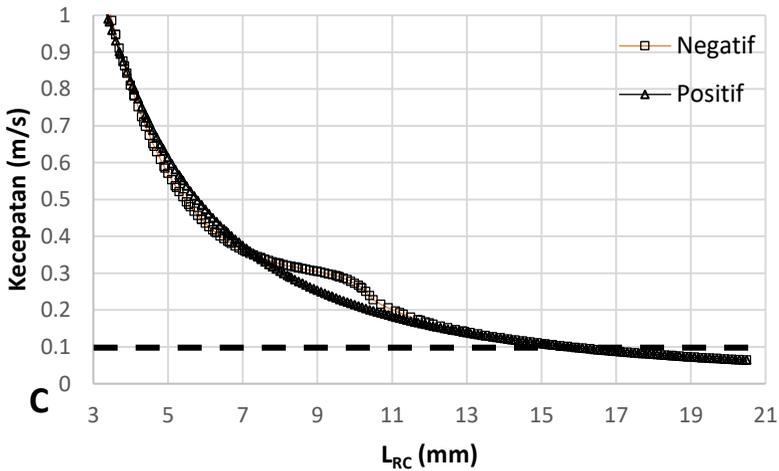
Pada gambar 4.16 diatas terlihat pada poin A adalah kontur kecepatan metode tekanan positif dan yang poin B adalah metode tekanan negatif. Kontur kecepatan tersebut diambil dalam beberapa *section*, yaitu 1 mm, 4 mm, 7 mm, dan 10 mm dari dasar saluran akar atau apikal. Perbandingan ini dilakukan pada kecepatan maksimal tekanan positif karena kecepataannya lebih besar yaitu 12.71 m/s sedangkan untuk tekanan negatif 12.67 m/s. Akan tetapi karena perbedaan kecepatan tersebut sangat kecil sehingga tidak begitu terlihat perbedaan dalam segi warna. Dalam segi perbandingan *section* terlihat kecepatan metode tekanan positif di 1 mm dari dasar saluran akar lebih tinggi daripada metode tekanan negatif. Selain itu, dengan pengambilan vektor dengan skala yang sama, metode tekanan negatif pada *section* 1 mm dari apikal anak panahnya sudah menyebar ke arah x dan z. Sedangkan pada metode tekanan positif arah vektornya kearah y atau terlihat hanya titik saja. Pada *section* 2 terlihat metode tekanan positif ada bagian putih melingkari bagian tengah, hal tersebut terjadi karena jarum diletakkan $y=2$ mm dari dasar saluran akar, sehingga terlihat adanya tebal jarum pada *section* tersebut dan setelahnya. Namun, pada tekanan negatif tidak terdapat bagian putih di konturnya karena penempatan jarum yang lebih jauh dari metode tekanan positif, yaitu pada 10.5 mm. Pada *section* 3 yaitu 7 mm dari dasar saluran akar, terlihat kontur kecepatan yang menuju keluar dari saluran akar pada metode tekanan positif sudah sangat kecil atau hampir 0 m/s. Sedangkan pada metode tekanan negatif masih terlihat kontur kecepatan tersebut. Pada *section* 4 yaitu 10 mm dari saluran akar, kontur kecepatan untuk keluar dari saluran akar pada kedua metode sudah sangat kecil atau bahkan mendekati 0 m/s.

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa kedua metode hampir sama yaitu menggunakan prinsip meluber dan debris sangat sulit terangkat keluar saluran akar. Sehingga untuk dapat sampai ke atas diperlukan penghisapan secara langsung.

Visualisasi aliran fluida pada gambar di atas diperkuat dengan grafik yang ditampilkan pada gambar 4.17. Pada grafik (a) menunjukkan bahwa perbedaan distribusi kecepatan antara kedua

metode yang diambil menggunakan *line* pada bagian tengah ujung jarum hingga $y=0$. (b) menunjukkan perbedaan distribusi kecepatan aliran antara kedua metode yang diambil menggunakan *line* dari dasar saluran akar (apikal) hingga *outlet* saluran akar, sedangkan pada (c) menunjukkan perbesaran grafik (b) dengan range yang sudah ditentukan untuk melihat keluaran dari saluran akar.

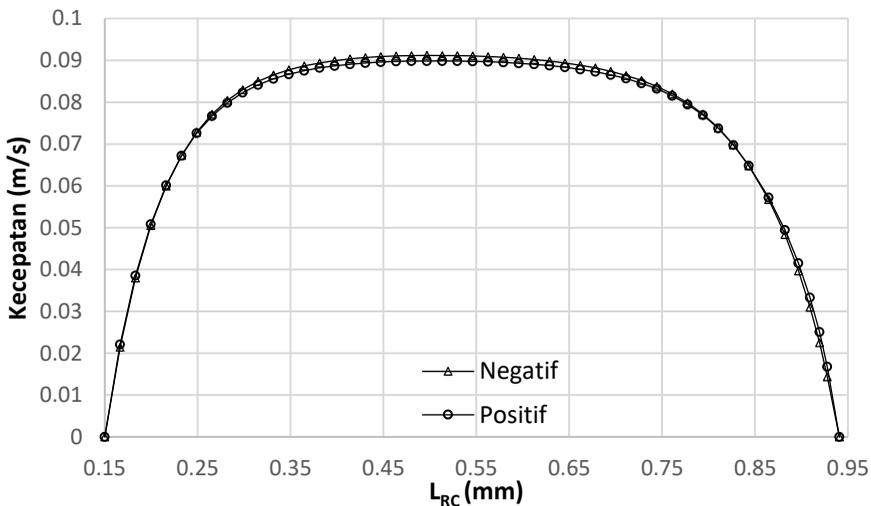




Gambar 4.17 Grafik distribusi kecepatan pada kedua metode (a) Aliran menuju apikal, (b) Aliran meninggalkan saluran akar, dan (c) Syarat pertukaran irigan (pengangkatan debris)

Terlihat bahwa pada grafik (a) perbedaan penempatan jarum yang terdapat pada kedua metode yang mengakibatkan perbedaan penurunan yang terjadi pada saluran akar. Pada metode tekanan negatif terlihat pada panjang L_{RC} 10.5 mm sudah mengalami penurunan kecepatan aliran, sedangkan pada metode tekanan positif penurunan kecepatan terjadi pada L_{RC} 2 mm. Selain itu, kecepatan pada daerah apikal lebih tinggi metode tekanan positif karena penempatan jarum terletak lebih dekat dengan apikal. Akan tetapi, pada grafik (b) terlihat bahwa aliran balik yang lebih besar pada metode tekanan negatif daripada metode tekanan positif, dengan nilai pada metode tekanan negatif adalah ± 2 m/s sedangkan pada metode tekanan positif adalah ± 1.75 m/s yang kemudian turun dengan signifikan hingga keluar ke saluran akar. Pada keluaran hingga *outlet* saluran akar dapat dilihat pada grafik (c) terlihat

bahwa pada skala yang digunakan adalah 1 m/s dan memulai dari L_{RC} 3 mm. Pada L_{RC} 3mm hingga 7 mm kecepatan metode tekanan positif lebih tinggi daripada metode tekanan negatif karena pada kecepatan pada metode tekanan negatif pada L_{RC} tersebut menurun dengan signifikan. Kemudian kecepatan pada metode tekanan negatif datar pada L_{RC} 7 mm hingga 11 mm dan kecepatan pada area tersebut lebih tinggi daripada kecepatan positif. Setelah itu, kecepatan turun secara bersamaan dan berhimpitan hingga keluar dari saluran akar. Namun, kecepatan pada *outlet* tidak bisa mengangkat debris karena tidak memenuhi syarat.



Gambar 4.18 Grafik distribusi kecepatan pada *outlet*

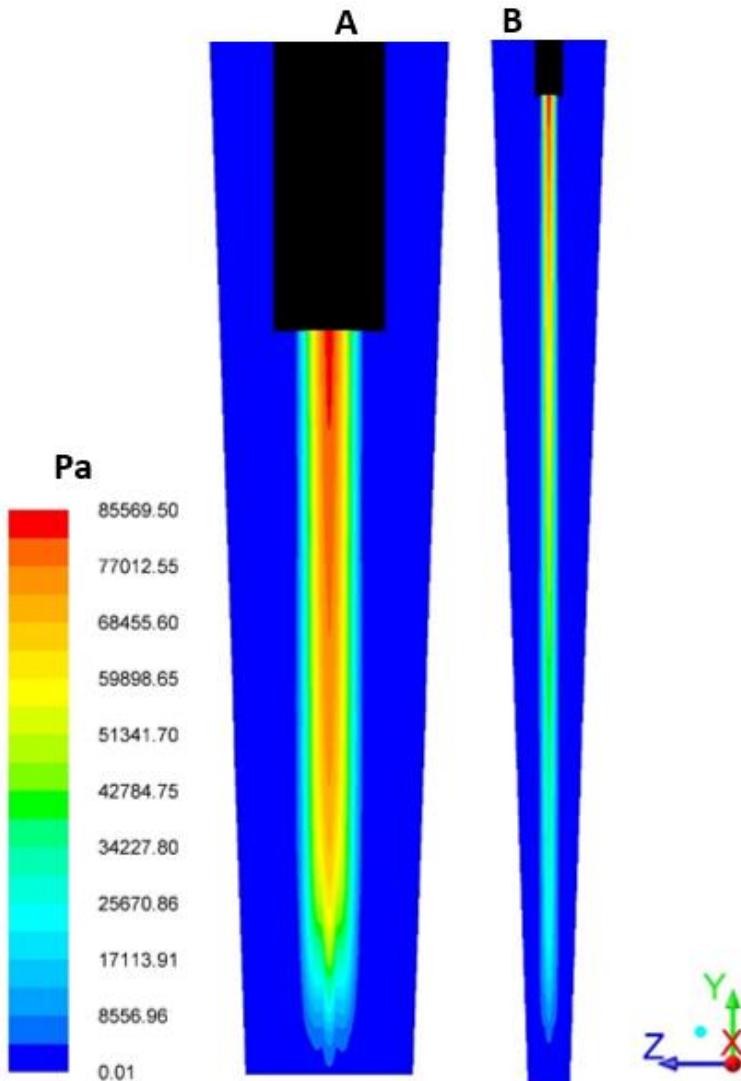
Perbedaan distribusi kecepatan juga dilihat pada daerah *outlet* atau keluar saluran akarnya. Perbedaan ini untuk meninjau dari segi kecepatan yang keluar pada area *outlet* sebagai syarat kecepatan minimum terjadinya pertukaran irigan atau pengangkatan debris. Kecepatan minimum untuk terjadinya pertukaran irigan yaitu jika kecepatannya diatas 0.1 m/s. Akan tetapi, kedua metode tidak ada yang memenuhi syarat terjadinya pertukaran irigan pada area

outlet, hal tersebut diilustrasikan grafik pada gambar 4.18. Terlihat pada grafik tersebut tidak ada kecepatan yang diatas 0.1 m/s. Namun, kecepatan pada metode tekanan negatif lebih besar daripada dengan metode tekanan positif. Kecepatan maksimum pada metode tekanan negatif adalah 0.091m/s, sedangkan pada metode tekanan positif adalah 0.89 m/s.

4.3.2 Perbandingan Tekanan Dinamis

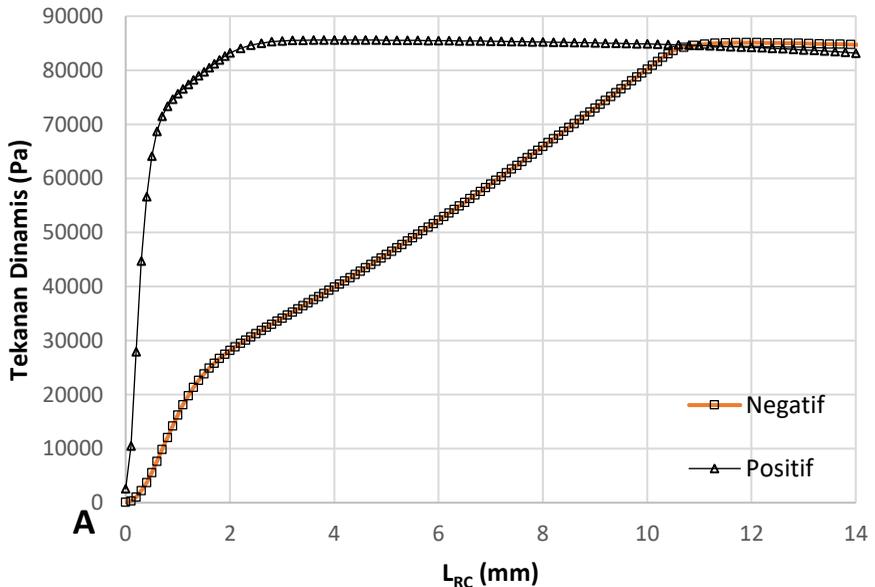
Perbedaan tekanan dinamis pada kedua metode yaitu pada nilai yang tertinggi dari tekanan dinamis yang dihasilkan. Perbedaan nilai skala tertinggi tersebut tidak terlalu jauh pada tekanan negatif adalah 85101.80 Pa sedangkan metode tekanan positif lebih besar yaitu 85569.50 Pa. Karena perbedaanya tidak terlalu jauh sehingga warna yang terlihat pada kontur kecepatan tidak terlalu terlihat perbedaannya. Ilustrasi gambar dapat dilihat pada gambar 4.19. Selain itu, distribusi tekanan dinamis pada metode tekanan positif memiliki kontur tekanan dinamis merah hingga mendekati ujung atau dasar saluran akar yang kemudian bergradasi karena bertabrakan dengan dinding apikal. Sedangkan pada metode tekanan negatif memiliki distribusi tekanan dinamis yang merata sepanjang saluran akar, setelah keluar dari jarum kemudian warna-warna tersebut menurun sesuai skala yang ada.

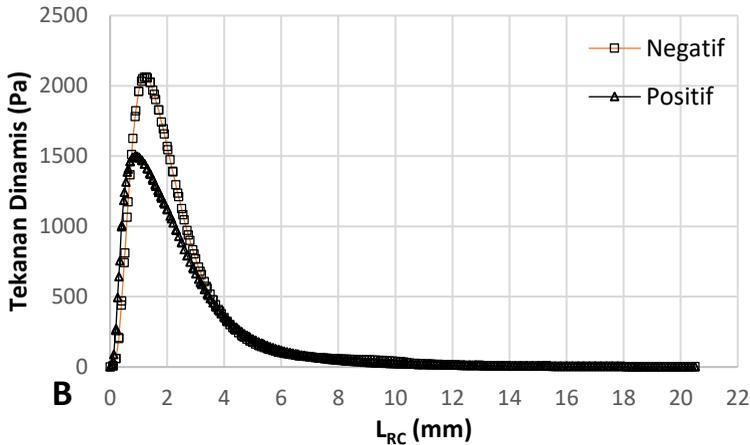
Selain dari segi visualisasi, distribusi tekanan dinamis juga ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 4.20. Pada grafik (a) menunjukkan bahwa perbedaan distribusi tekanan dinamis antara kedua metode yang diambil menggunakan *line* pada bagian tengah ujung jarum hingga $y=0$. (b) menunjukkan perbedaan distribusi kecepatan aliran antara kedua metode yang diambil menggunakan *line* dari dasar saluran akar (apikal) hingga *outlet* saluran akar.



Gambar 4.19 Visualisasi kontur tekanan dinamis pada kedua metode (a) metode tekanan positif dan (b) metode tekanan negatif

Terlihat bahwa distribusi tekanan dinamis pada kedua metode memiliki perbedaan-perbedaan. Perbedaan yang pertama yaitu pada metode tekanan positif distribusi tekanan memiliki penurunan secara tiba-tiba pada L_{RC} 0.5 mm yang kemudian menyentuh pada dinding saluran akar sehingga bernilai mendekati 0 mm. Sedangkan pada metode tekanan negatif, tekanan dinamis berdistribusi merata hingga jarak ± 2 mm yang kemudian menurun secara tiba-tiba hingga dinding saluran akar atau apikal. Sehingga dari hasil grafik di atas dapat menguatkan hasil visualisasi kontur tekanan dinamis pada gambar 4.19. Pada grafik (b) terlihat bahwa tekanan dinamis yang kembali ke *outlet* lebih tinggi pada metode tekanan negatif, hal tersebut berhubungan dengan kecepatan yang terjadi pada area tersebut. Puncak tekanan dinamis yang menuju *outlet* pada metode tekanan negatif dengan nilai ± 2100 Pa, sedangkan pada metode tekanan positif adalah ± 1500 Pa. Setelah titik puncak, tekanan dinamis akan turun bersamaan sampai *outlet*.





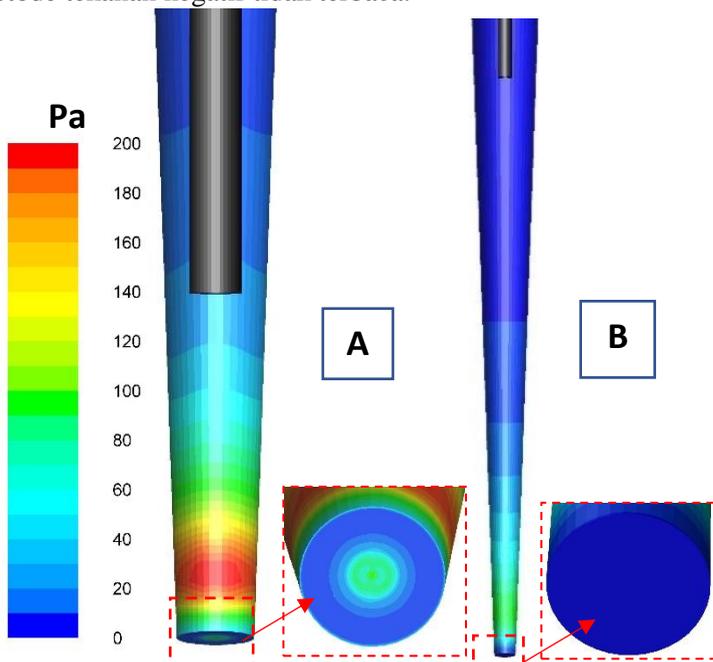
Gambar 4.20 Grafik distribusi tekanan dinamis pada kedua metode (a) Aliran menuju apikal, dan (b) Aliran meninggalkan saluran akar

4.3.3 Perbandingan Tegangan Geser pada Dinding

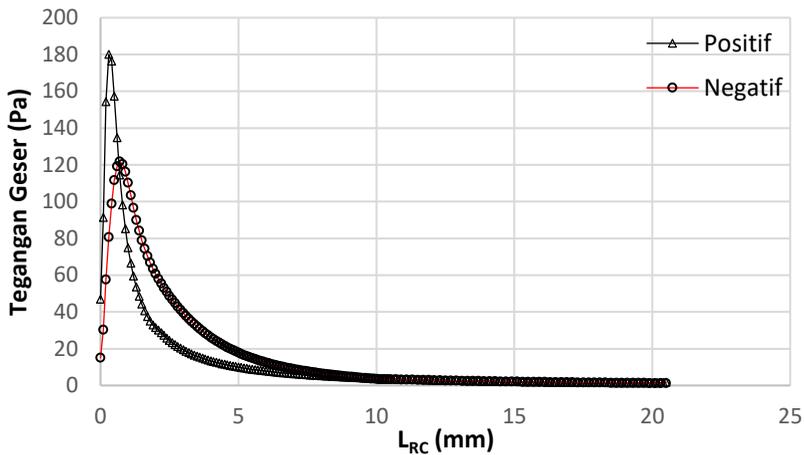
Perbedaan tegangan geser dinding antara kedua metode terletak pada bagian nilai atau besaran dari tegangan geser setiap metode dan letak dari tegangan geser yang dialami oleh dinding saluran akar. Pada metode tekanan positif karena kecepatan yang dekat dinding sangat besar dan menabrak dinding sehingga pada daerah dasar saluran akar mempunyai tegangan geser yang besar juga. Selain itu, tegangan geser pada metode tekanan positif berada dekat dengan daerah apikal.

Pada metode tekanan negatif karena penempatannya lebih jauh dari apikal sehingga kecepatan saat diapikal lebih kecil metode tekanan positif. Namun, tetap terjadi gesekan dengan dinding yaitu pada daerah dekat dengan dasar saluran akar atau apikal. Tegangan geser pada metode ini lebih panjang daripada metode tekanan positif. Ilustrasi gambar dapat dilihat pada gambar 4.21.

Metode tekanan positif memiliki tegangan geser lebih besar daripada metode tekanan negatif. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.21, terlihat bahwa pada metode tekanan positif memiliki warna skala tegangan geser yaitu merah pada dekat apikal dan pada metode tekanan negatif hanya warna hijau. Selain itu, terlihat juga bahwa tegangan geser pada metode tekanan positif terletak pada dekat dengan dasar saluran akar atau apikal. Pada metode tekanan negatif terjadi pada bagian sepanjang saluran akar. Sedangkan pada bagian dinding apikal saluran akar, terlihat bahwa dinding pada metode tekanan positif memiliki tegangan geser pada area tersebut. Namun, pada metode tekanan negatif yang ditinjau dari apikal hanya berwarna biru tua yang menandakan dengan skala tersebut metode tekanan negatif tidak terbaca.



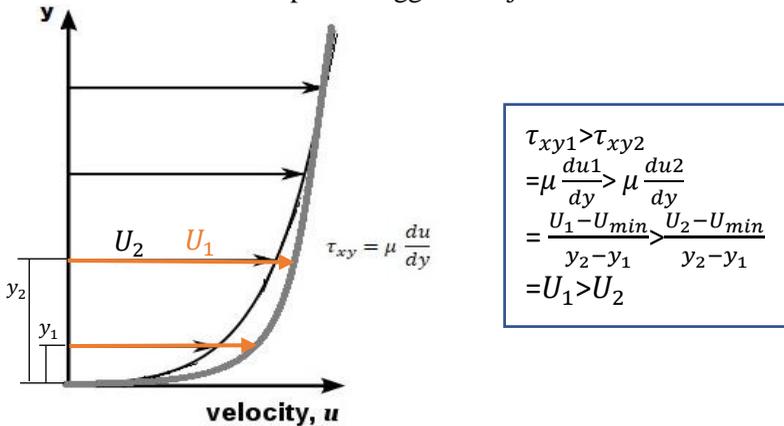
Gambar 4.21 Visualisasi kontur tegangan geser pada kedua metode (a) metode tekanan positif dan (b) metode tekanan negatif



Gambar 4.22 Distribusi tegangan geser yang terjadi pada kedua metode (a) metode tekanan positif dan (b) metode tekanan negatif

Selain dari segi visualisasi, perbandingan distribusi tegangan geser antara metode tekanan positif dan tekanan negatif juga ditampilkan dalam bentuk grafik. Terlihat grafik pada gambar 4.22. Pada grafik di gambar 4.20 terlihat bahwa perbedaan-perbedaan terlihat pada nilai tertinggi tegangan geser yang terjadi di dalam saluran akar. Pada metode tekanan positif memiliki tegangan geser lebih tinggi yaitu ± 180 Pa sedangkan pada metode tekanan negatif hanya ± 120 Pa sehingga pada kontur tegangan geser pada gambar 4.20 pada metode tekanan positif memiliki warna merah dikarenakan skala tertinggi yang digunakan adalah 200 Pa. Selain itu, nilai tegangan geser pada metode tekanan positif banyak yang terdapat pada dinding apikal atau dasar saluran akar, sedangkan metode tekanan negatif yang terdapat pada dinding apikal hanya dari 0-20 Pa sehingga tidak terlihat konturnya pada visualisasi dengan skala 200 Pa. Kemudian pada metode tekanan negatif perubahan nilai dari nilai tertinggi ke nilai terendah lebih landai

hingga poin dari ujung jarum sendiri. Setelah itu, grafik antara kedua metode berhimpitan hingga menuju keluaran atau *outlet*.



Gambar 4.23 Korelasi tegangan geser dinding dengan kecepatan

Korelasi hasil tegangan geser dinding dengan pembersihan saluran akar gigi yaitu dengan nilai tegangan geser dinding yang besar, maka menyebabkan momentum aliran yang lebih besar sehingga dapat mengangkat debris yang terdapat pada saluran akar. Dari gambar grafik 4.22 ini didapatkan bahwa metode tekanan positif lebih efektif pada daerah dasar saluran akar, akan tetapi tidak dapat hingga *outlet* saluran akar. Pada metode tekanan negatif tegangan gesernya lebih tersebar merata hingga pertengahan saluran akar sehingga lebih baik daripada metode tekanan positif.

4.3.4 Perbandingan nilai pada dasar saluran akar atau Apikal

Pada sub bab ini akan dijelaskan nilai-nilai kecepatan, tekanan dinamis, dan tegangan geser dinding dengan membandingkan panjang saluran akar yang sama, yaitu pada saluran akar 20.5 mm. Pada metode tekanan positif panjang penyisipan jarum hingga 2 mm dari apikal, sedangkan pada tekanan negatif sejauh 10 mm dari *outlet* saluran akar. Kemudian hasil dari simulasi yang diambil

adalah pada dasar saluran akar atau apikal $y=0$ mm untuk membandingkan kedua metode. Perbedaan-perbedaan tersebut tergambar pada angka-angka dengan satuan masing-masing sehingga tahu perbedaan antara kedua metode. Hasil dari perbandingan di tabelkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan nilai yang terjadi pada daerah apikal

Metode	Rata-Rata Tekanan dinamis (Pa)	Rata-Rata Tegangan geser dinding (Pa)	Kecepatan Maksimal (m/s)	Jarak terjauh dari apikal (mm)
Tekanan Positif	581.97	36.66	2.21	0
Tekanan Negatif	43.52	11.01	0.43	0

Dari hasil pada tabel 4.1 terlihat bahwa tekanan dinamis yang menabrak ke dinding apikal sangat besar sehingga dapat menimbulkan kecelakaan dalam irigasi saluran akar, sedangkan pada metode tekanan negatif relatif lebih aman daripada metode tekanan positif karena tekanan dinamis yang terjadi pada saluran akar relatif kecil. Ditinjau dari tegangan geser yang terjadi pada dasar saluran akar, metode tekanan positif juga lebih besar daripada metode tekanan negatif. Selain itu, ditinjau dari kecepatan maksimal yang merambat pada dinding apikal metode tekanan positif juga lebih besar daripada metode tekanan negatif. Akan tetapi metode tekanan negatif tetap memenuhi syarat dalam pertukaran irigan atau pengangkatan debris, karena syarat terjadinya pertukaran irigan pada saluran akar yaitu jika kecepatan diatas 0.1 m/s (**Boutsioukis dkk,2010**).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan mengenai karakteristik aliran dalam saluran akar dengan tekanan positif serta tekanan negatif dengan reynold number adalah 1376 maka didapatkan beberapa kesimpulan bahwa :

1. Setiap variasi panjang saluran akar untuk metode irigasi tekanan positif dimana kedalaman penyisipan ditetapkan 2 mm dari ujung apikal tidak terjadi perbedaan yang signifikan pada pola aliran, nilai kecepatan, tegangan geser dinding, dan tekanan dinamis.
2. Setiap variasi panjang saluran akar pada metode tekanan negatif dimana kedalaman penyisipan ditetapkan 10 mm dari ujung *orifice* tidak terjadi perbedaan yang signifikan pada pola aliran, namun nilai kecepatan, *wall shear stress*, dan tekanan dinamis lebih efektif pada panjang saluran akar pendek.
3. Setiap metode menggunakan jarum *open ended* akan sampai ke dasar saluran akar atau apikal, baik metode tekanan positif maupun tekanan negatif.
4. Perbedaan antara kedua metode adalah pada keamanannya karena setelah ditinjau pada daerah apikal didapatkan bahwa tekanan dinamis pada metode tekanan positif sangat besar sehingga kemungkinan terjadi kecelakaan pada perawatan saluran akar lebih besar daripada dengan metode tekanan negatif.
5. Keefektifan pembersihan saluran akar untuk metode tekanan negatif lebih tersebar merata sepanjang saluran akar daripada metode tekanan positif sehingga lebih efektif dalam pembersihannya.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian dan diharapkan dapat bermanfaat sebagai pertimbangan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini banyak sekali dalam pengasumsiannya seperti ukuran debris dentin sisa pengeboran yang ada dalam apikal, penggunaan aliran steady pada simulasi, tekanan hisap yang digunakan pada tekanan negatif diasumsikan sama dengan yang ada pada jurnal, dan masih banyak lagi.
2. Penyimulasian menggunakan granular flow agar dapat menampilkan partikel yang terangkat.
3. Melakukan sudi tentang pengaruh variasi posisi letak jarum yang tidak diletakkan ditengah
4. Melakukan studi mengenai irigasi saluran akar menggunakan ultrasonik
5. Menggunakan perangkat lunak metode komputasi fluida komersial yang lebih *update* agar mendapatkan hasil yang lebih akurat dan lebih valid.
6. Menampilkan hasil foto SEM saluran akar sebelum dilakukan proses pembersihan dan sesudah dilakukan variasi dengan berbagai metode agar dapat terlihat perbandingan efektifitas pembersihannya.
7. Melakukan studi *root canal therapy* sebagai aliran 2 fasa dengan memodelkan juga *apical vapor lock* atau gelembung yang terjebak.

DAFTAR PUSTAKA

- Boutsioukis, C., Theodor Lambrianidis., Bram Verhaagen., 2010. *The Effect of Needle-Insertion Depth on the Irrigant Flow in the Root Canal: Evaluation Using an Unsteady Computational Fluid Dynamics Model*, Basic Research-Technology: J Endod 2010;36:1664-1668.
- Boutsioukis, C., E.Kastrinakis., T. Lambrianidis., B.Verhaagen., 2013. *Formation and Removal of Apical Vapor Lock During Syringe Irrigation : a Combined Experimental and Computational Fluid Dynamics Approach*, International Endodontic Journal, 47, 191-201.
- Chen, Jose Enrique., Babak, Nurbakhsh., Gillian Layton.,2014. *Irrigation Dynamics Associated with Positive Pressure, Apical Negative Pressure and Passive Ultrasonic: A Computational Fluid Dynamics Analysis*, Australian Endodontic Jurnal Reviews Aust Endod J 2014; 40:54-60
- Kocharian, Tikran., 2010. *Root Canal Irrigation-An Engineering Analysis Using Comptutational Fluid Dynamics*.Thesis Departement of Mechanical and Industrial Engineering Universitas of Toronto, USA.

- Fukumoto, Y., I. Kikuchi., T. Yoshioka., C. Kobayashi & H. Suda., 2006. *An Ex Vivo Evaluation of a New Root Canal Irrigation Technique with Intracanal Aspiratio*, International Endodontic Journal, 39, 93-99.
- Ektefaie, Muhammad R., 2005. *Point of Care*. Journal of the Canadian Dental Association, Vol.71 No. 7
- Li, Ping., Di Zhang., Yonghui Xie dan Jibing Lan., 2012. *Numerical investigation of root canal irrigation adopting innovative needles with dimple and protrusion*. Acta of Bioengineering and Biomechanics, 10.5277/abb130106
- Fox, R.W., Mc Donald, A.T. dan Pritchard, P.J. : *“Introduction to Fluid Mechanics”*, 8th Edition. New York : John Wiley & Sons Inc ; 2011.

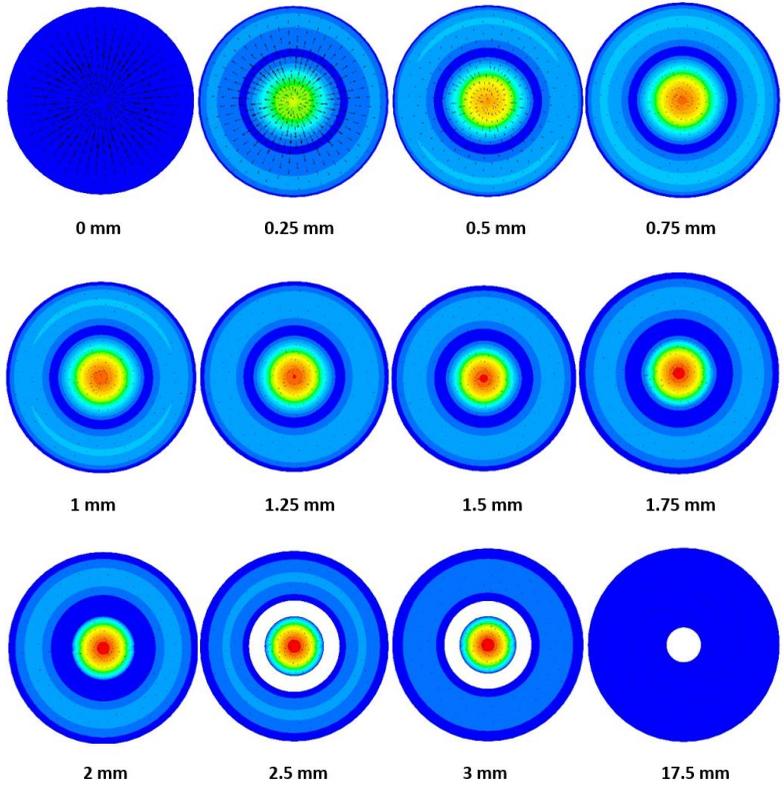
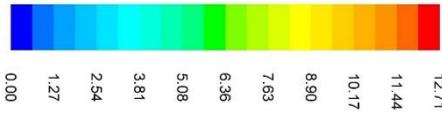
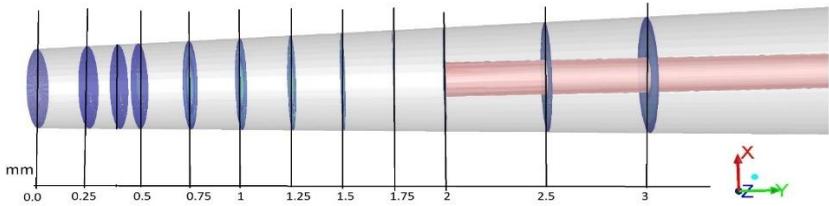
BIODATA PENULIS



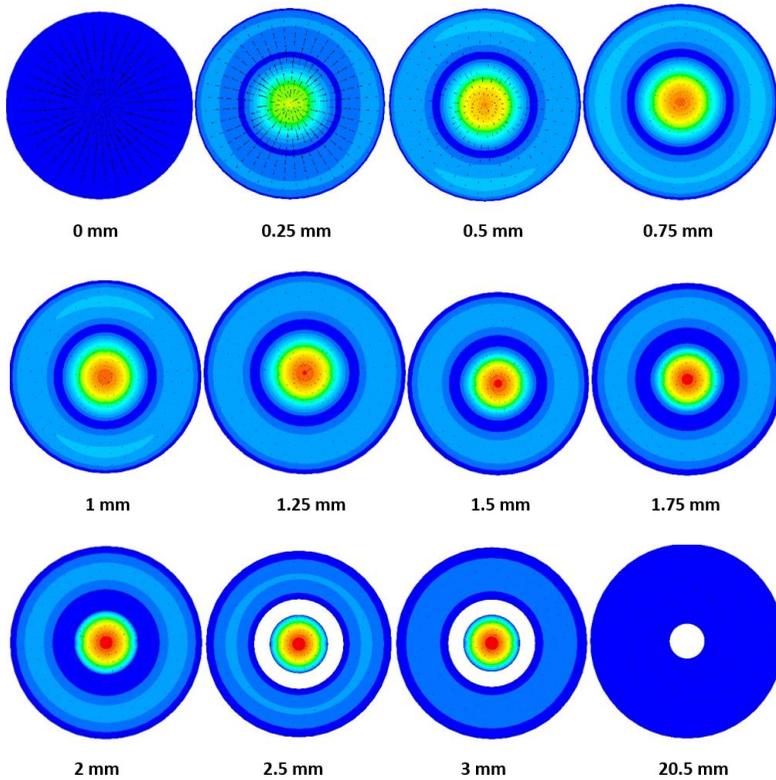
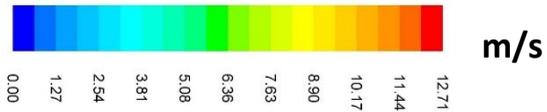
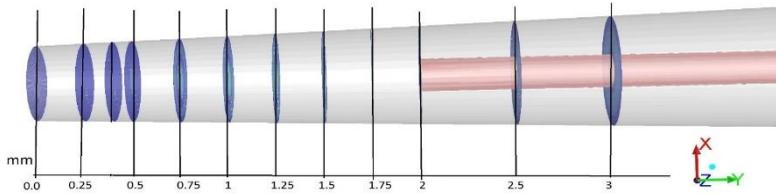
Fajar Dwi Yudanto merupakan nama lengkap dari penulis tugas akhir ini. Penulis yang lahir di Yogyakarta pada 13 Juni 1994 ini merupakan anak ke dua dari pasangan Bapak Edi Sudarto dan Ibu Mindaryati. Penulis memulai pendidikan formal di SD Tamanmuda IP pada tahun 2000 dan lulus pada tahun 2006. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan di SMP N 3 Yogyakarta dan lulus tahun 2009. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMK N 2 Yogyakarta jurusan Teknik Instalasi Tenaga Listrik dan menyelesaikan studi tingkat menengah pada tahun 2012 dan melanjutkan ke jenjang studi diploma tiga jurusan Teknik Mesin di Universitas Gadjah Mada hingga 2015. Selama menempuh jenjang diploma tiga, penulis mengambil bidang studi Manufaktur. Setelah lulus dari jenjang diploma tiga di Universitas Gadjah Mada, Pada tahun yang sama penulis melanjutkan dan menempuh pendidikan di Teknik Mesin FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil bidang studi Rekayasa Konversi Energi khususnya pada laboratorium Mekanika Fluida.

(Halaman sengaja dikosongkan)

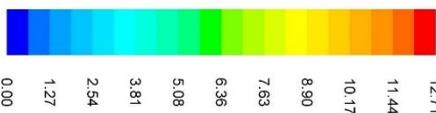
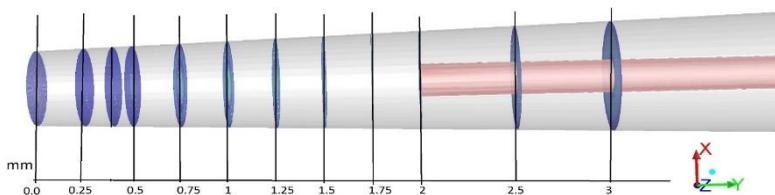
Metode Tekanan Positif 17.5 mm



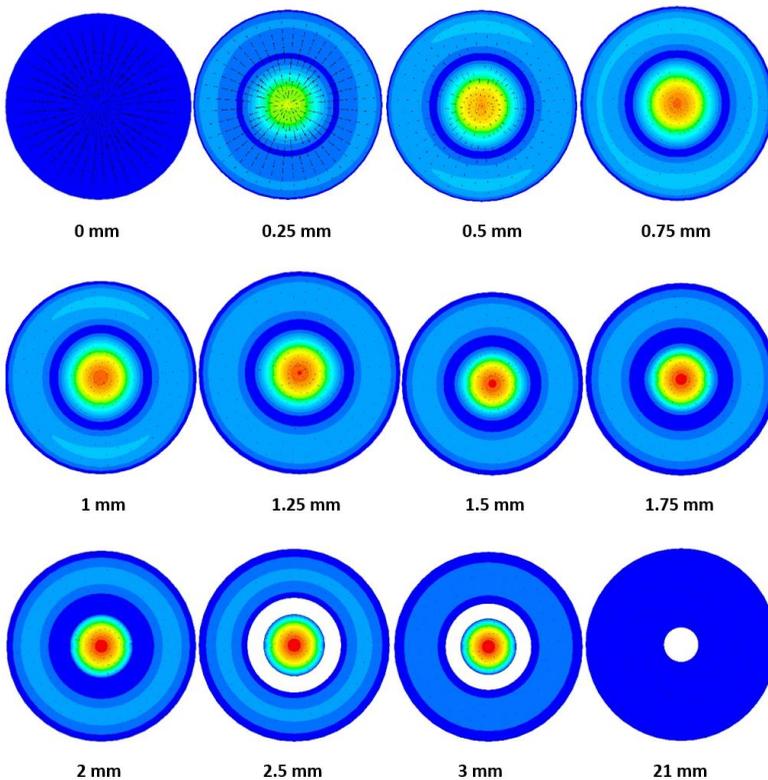
Metode Tekanan Positif 20.5 mm



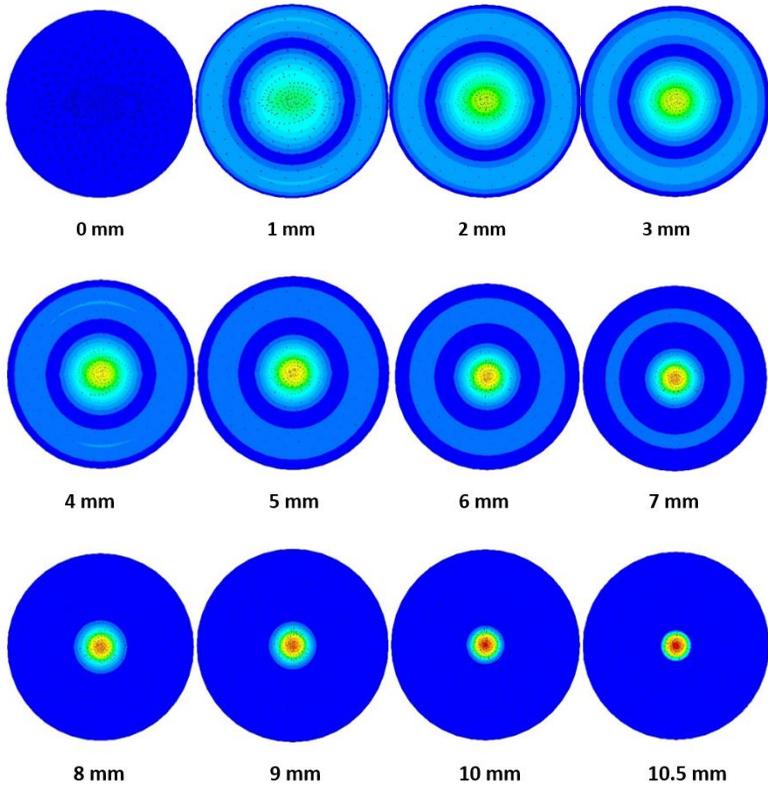
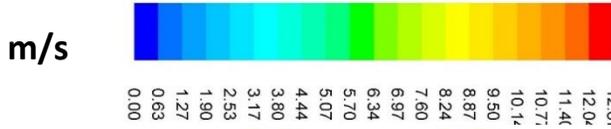
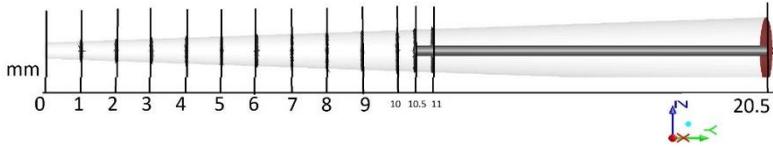
Metode Tekanan Positif 21 mm

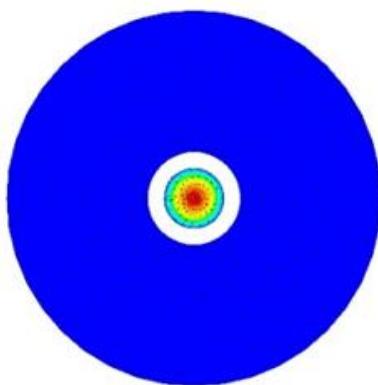


m/s

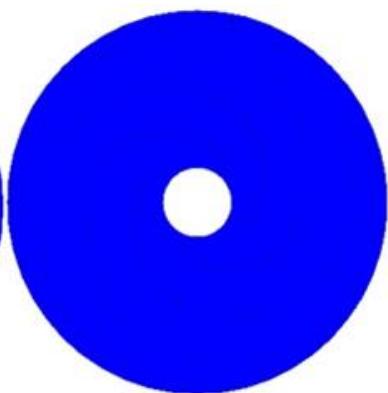


Metode Tekanan Negatif 20.5 mm



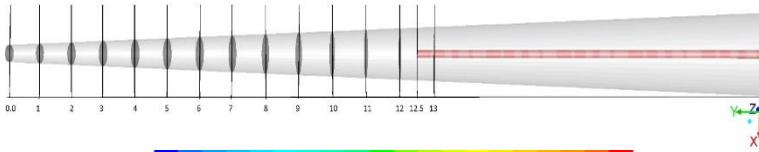


11 mm

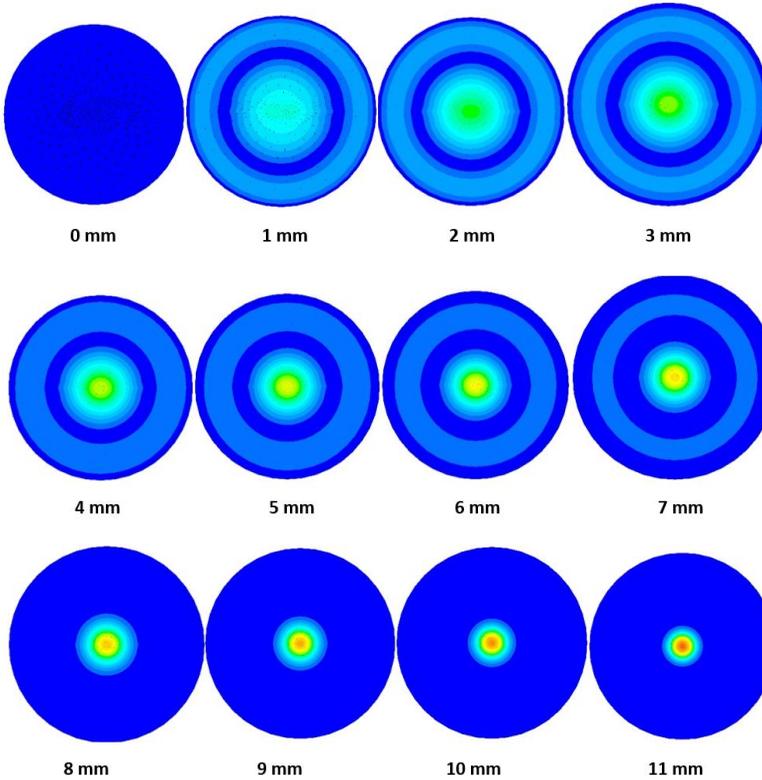
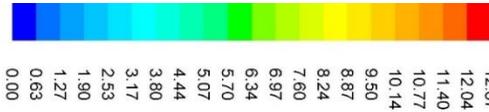


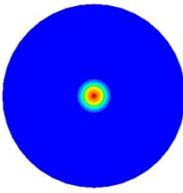
20.5 mm

Metode Tekanan Negatif 22.5 mm

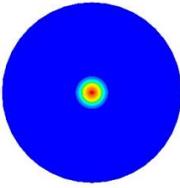


m/s

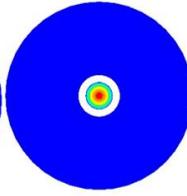




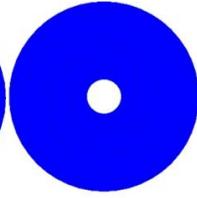
12 mm



12.5 mm



13 mm



22.5 mm

(Halaman sengaja dikosongkan)