

SKRIPSI

PENGARUH VARIASI ELBOW DAN BUKAAN KATUP TERHADAP PERUBAHAN KECEPATAN DAN *PRESSURE* *DROP* PADA PIPA DENGAN PENDEKATAN CFD

Disusun dan diajukan oleh:

YISREL LOYIS SIALLA
D091181315



DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH VARIASI ELBOW DAN BUKAAN KATUP TERHADAP
PERUBAHAN KECEPATAN DAN PRESSURE DROP PADA PIPA DENGAN
PENDEKATAN CFD

Disusun dan diajukan oleh

YISREL LOYIS SIALLA
D091181315

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Baharuddin, S.T., M.T.
NIP. 19720202 199802 1 001

Pembimbing Pendamping,



Balqis Shintarahayu, S.T., M.Sc.
NIP. 19950927202101 6 001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, ST., M.Inf.Tech., MEng
NIP. 19810211 200501 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Yisrel Loyis Sialla
NIM : D091181315
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : SI

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

*"PENGARUH VARIASI ELBOW DAN BUKAAN KATUP TERHADAP
PERUBAHAN KECEPATAN DAN PRESSURE DROP PADA PIPA DENGAN
PENDEKATAN CFD"*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

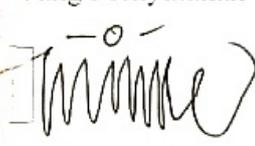
Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 28 November 2023

Yang Menyatakan



MATERAI TEMPEL
EBBBALX064789079

Yisrel Loyis Sialla

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunianya sehingga skripsi dengan judul “*Pengaruh Variasi Elbow Dan Bukaannya Terhadap Perubahan Kecepatan dan Pressure Drop Pada Pipa Dengan Pendekatan CFD*” dapat diselesaikan dengan baik. Penulis berterimakasih kepada seluruh pihak yang terlibat membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Pada penyusunan skripsi ini, banyak pihak yang telah membantu penyusunan baik secara langsung maupun tidak langsung, secara moril maupun materil. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa.
2. Bapak dan ibu penulis Marthen Luther Mangelo dan ibu Mariana Namba yang telah membesarkan dan membentuk penulis menjadi seperti sekarang.
3. Bapak Baharuddin, ST.,M.T dan ibu Balqis Shintarahayu, ST.,M.Sc selaku dosen pembimbing yang senantiasa dengan sabar membimbing, memberikan masukan, semangat dan pandangan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Ir. Zulkifli, M.T dan bapak M. Rusydi Alwi, S.T.,M.T selaku dosen penguji pada penyusunan skripsi ini atas segala masukan dan saran untuk skripsi ini.
5. Teman-teman THRUZTER 2018 dan ZIZTER 2018 yang selalu memberikan support dan bantuan serta memberi warna kepada penulis selama masa-masa kuliah.
6. Teman-teman LEVEL UP 2018 dan rumah kecil MAIN FRAME 2018 yang sudah menjadi keluarga dan tempat untuk pulang selama penulis berkuliah.
7. Teman-teman KKN Takalar 17 yang menjadikan cerita KKN penulis sangat berkesan.
8. Aryo Ferdy yang sudah kebersamai penulis selama penyusunan skripsi ini.

9. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhirnya penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, karena keterbatasan ilmu yang penulis miliki. Untuk itu penulis dengan kerendahan hati mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak demi membangun laporan penelitian ini.

Gowa, 25 November 2023

Yisrel Loyis Sialla

ABSTRAK

YISREL LOYIS SIALLA. *PENGARUH VARIASI ELBOW DAN BUKAAN KATUP TERHADAP PERUBAHAN KECEPATAN DAN PRESSURE DROP PADA PIPA DENGAN PENDEKATAN CFD (dibimbing oleh Baharuddin dan Balqis Shintarahayu)*

Kajian mengenai aliran dalam pipa hingga saat ini masih terus berkembang. Hal ini disebabkan oleh pentingnya penerapan hasil dari kajian tersebut, baik itu diterapkan dalam bidang penelitian mekanika fluida maupun dalam bidang industry. Salah satu kajian aliran dalam pipa adalah karakteristik aliran fluida yang dimana dapat diketahui dengan menggunakan peralatan laboratorium mekanika fluida yang dalam hal ini adalah satu set model jaringan pipa. Terlepas dari persamaan-persamaan empiris yang digunakan untuk mengukur sejauh mana keakurasian peralatan ini, juga diperlukan metode yang lebih efisien seperti metode simulasi. Dalam penelitian ini akan dicari karakteristik aliran fluida seperti *pressure drop* pada tiap belokan pipa dan bukaan katup dengan menggunakan metode simulasi CFD. Objek yang digunakan pada penelitian ini adalah satu set model jaringan pipa dengan variasi bukaan katup (100%, 75%, 50%) dan *initial velocity* (2m/s, 2,5m/s, 3m/s, 3,5m/s). Dari hasil simulasi yang telah dilakukan terdapat enam titik pengambilan data tekanan dan kecepatan aliran yaitu elbow radius besar, gate valve, elbow sudut patah, elbow radius kecil, reducer, dan ball valve. Dari data tersebut maka dapat diketahui *pressure drop* tertinggi yaitu ada pada ball valve dengan bukaan katup 50% sebesar 80794,48 Pa dan *pressure drop* terendah terdapat pada elbow radius kecil dengan bukaan katup 50% sebesar 588,7 Pa.

Kata kunci: aliran fluida, *pressure drop*, *ansys*, *computational fluid dynamic* (CFD).

ABSTRACT

YISREL LOYIS SIALLA. *THE EFFECT OF ELBOW AND VALVE OPENING VARIATIONS ON SPEED AND PRESSURE DROP CHANGES IN PIPELINE WITH CFD APPROACH* (guided by Baharuddin and Balqis Shintarahayu)

The study of flow in pipelines is still growing. This is due to the importance of applying the results of the study, both applied in the field of fluid mechanics research and in the industrial field. One of the studies of flow in pipes is the characteristics of fluid flow which can be known by using fluid mechanics laboratory equipment which in this case is a set of pipe network models. Apart from the empirical equations used to measure the extent of the accuracy of this equipment, more efficient methods such as simulation methods are also needed. In this study, fluid flow characteristics such as pressure drops at each turn of the pipe and valve openings will be searched using the CFD simulation method. The object used in this study was a set of pipeline models with variations in valve openings (100%, 75%, 50%) and initial velocity (2m/s, 2.5m/s, 3m/s, 3.5m/s). From the simulation results that have been carried out, there are six points of pressure and flow speed data collection, namely large radius elbow, gate valve, broken angle elbow, small radius elbow, reducer, and ball valve. From these data, it can be seen that the highest pressure drop is on the ball valve with a 50% valve opening of 80794.48 Pa and the lowest pressure drop is found in a small radius elbow with a 50% valve opening of 588.7 Pa.

Keyword: fluid flow, pressure drop, velocity, computational fluid dynamics (CFD).

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1.Klasifikasi Fluida	5
2.1.1 Fluida newtonian	5
2.1.2 Fluida non-newtonian.....	5
2.2.Aliran Fluida	5
2.2.1 Klasifikasi aliran fluida	6
2.2.2 Aliran laminar dan turbulen.....	6
2.2.3 Koefisien gesek	7
2.2.4 Kekasaran permukaan	9
2.3.Sifat – Sifat Fluida.....	11
2.3.1 Viskositas	11
2.3.2 Bilangan <i>reynolds</i>	12
2.3.4 Hukum bernauli.....	13
2.3.5 Penurunan tekanan (<i>pressure drop</i>).....	13
2.4.Persamaan Fluida	14
2.4.1 Laju aliran volume.....	14
2.5.Computational Fluid Dynamic	14
2.5.1 Metode computational fluid dynamic.....	14
2.5.2 Ansys CFX	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1.Lokasi dan Waktu Penelitian.....	16
3.1.1 Lokasi penelitian.....	16
3.1.2 Waktu pengambilan data	16
3.2.Jenis Penelitian.....	16
3.3.Metode Penelitian.....	16
3.4 Data Penelitian	17
3.5 Kerangka Alur Penelitian	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Umum.....	21
4.2 Dimensi Utama Pipa.....	21
4.3 Simulasi Permodelan.....	22

4.3.1	Pemodelan geometri	22
4.3.2	Proses meshing	24
4.3.3	Setup CFX	26
4.3.4	Solver control	28
4.3.5	Post-processor.....	28
4.4	Tahap simulasi.....	29
4.4.1	Hasil simulasi kecepatan aliran pada pipa.....	29
4.4.2	Hasil simulasi <i>pressure drop</i>	33
4.5	Pola Aliran Fluida	37
4.6	Perhitungan Koefisien Gesek pada Tiap Elbow, Reducer dan Katup	40
4.7	Analisa Hasil Simulasi	44
4.8	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> dengan Rumus Teori	52
4.9	Validasi Pressure Drop.....	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		59
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA		61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses berkembangnya aliran di atas plat (<i>sumber: https://infimech.co.id/</i>).....	7
Gambar 2.2	Aliran dalam pipa dari aliran sedang berkembang hingga aliran berkembang penuh (<i>sumber: https://mekanikafluidatm.wordpress.com/</i>)	7
Gambar 2.3	Diagram Moody (<i>sumber: https://www.engineersedge.com/</i>)...	9
Gambar 2.4	Pengaruh kekasaran pada sub lapis (<i>sumber: <i>Journal of Fluid Mechanics</i></i>).....	10
Gambar 2.5	Kekasaran pada beberapa permukaan dinding pipa (<i>sumber: <i>Journal of Fluid Mechanics</i></i>)	10
Gambar 3.1	Pemodelan sistem instalasi jaringan pipa (<i>sumber: dokumentasi pribadi</i>)	18
Gambar 4.1	Pemodelan geometry pipa menggunakan <i>Software Rhinoceros 7</i>	23
Gambar 4.2	Identifikasi dan penamaan geometry	23
Gambar 4.3	Meshing objek pada Ansys CFX	24
Gambar 4.4	Meshing pada berbagai belokan dan pengecilan pipa	25
Gambar 4.5	Hasil setup cfx pada model.....	28
Gambar 4.6	Visualiasi kecepatan pada pipa.....	29
Gambar 4.7	Visualisasi kecepatan aliran pipa elbow radius besar.....	30
Gambar 4.8	Visualisasi kecepatan aliran pada gate valve.....	30
Gambar 4.9	Visualisasi kecepatan aliran pipa elbow sudut patah	31
Gambar 4.10	Visualisasi kecepatan aliran pipa elbow radius kecil	31
Gambar 4.11	Visualisasi kecepatan aliran pipa reducer.....	32
Gambar 4.12	Visualisasi kecepatan aliran pada ball valve	32
Gambar 4.13	Visualisasi pressure drop dengan initial velocity 3,5 m/s	33
Gambar 4.14	Visualisasi pressure drop pada pipa elbow radius besar dengan initial velocity 3,5 m/s	34
Gambar 4.15	Visualisasi pressure drop pada gate valve dengan initial velocity 3,5 m/s	34
Gambar 4.16	Visualisasi pressure drop pada pipa elbow sudut patah dengan initial velocity 3,5 m/s.....	35
Gambar 4.17	Visualisasi pressure drop pada pipa elbow radius kecil dengan initial velocity 3,5 m/s.....	35
Gambar 4.18	Visualisasi pressure drop pada pipa reducer dengan initial velocity 3,5 m/s	36
Gambar 4.19	Visualisasi pressure drop pada ball valve dengan initial velocity 3,5 m/s	36
Gambar 4.20	Grafik hubungan kecepatan aliran terhadap harga f pada bukaan katup 100%	43
Gambar 4.21	Grafik hubungan kecepatan aliran terhadap harga f pada bukaan katup 75%	43
Gambar 4.22	Grafik hubungan kecepatan aliran terhadap harga f pada bukaan katup 50%	44
Gambar 4.23	Grafik perbandingan kecepatan terhadap pressure drop pada bukaan katup 100%	50

Gambar 4. 24 Grafik perbandingan kecepatan terhadap pressure drop pada bukaan katup 75%	51
Gambar 4. 25 Grafik perbandingan kecepatan terhadap pressure drop pada bukaan katup 50%	51

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Perhitungan bilangan reynold pada bukaan 100%	38
Tabel 4.2	Perhitungan bilangan reynold pada bukaan 100%	38
Tabel 4.3	Perhitungan bilangan reynold pada bukaan 75%	38
Tabel 4.4	Perhitungan bilangan reynold pada bukaan 75%	39
Tabel 4.5	Perhitungan bilangan reynold pada bukaan 50%	39
Tabel 4.6	Perhitungan bilangan reynold pada bukaan 50%	39
Tabel 4. 7	Hasil analisa koefisien gesek pada bukaan katup 100%.....	40
Tabel 4. 8	Hasil analisa koefisien gesek pada bukaan katup 100%.....	41
Tabel 4. 9	Hasil analisa koefisien gesek pada bukaan katup 75%.....	41
Tabel 4. 10	Hasil analisa koefisien gesek pada bukaan katup 75%.....	41
Tabel 4. 11	Hasil analisa koefisien gesek pada bukaan katup 50%.....	42
Tabel 4. 12	Hasil analisa koefisien gesek pada bukaan katup 50%.....	42
Tabel 4.13	Pola aliran pada bukaan katup 100%.....	45
Tabel 4.14	Pola aliran pada bukaan katup 75%.....	46
Tabel 4.15	Pola aliran pada bukaan katup 50%.....	47
Tabel 4.16	Data hasil pressure drop pada simulasi bukaan katup 100%	48
Tabel 4.17	Data hasil pressure drop pada simulasi bukaan katup 75%	48
Tabel 4.18	Data hasil pressure drop pada simulasi bukaan katup 50%	49
Tabel 4.19	Validasi hasil simulasi dan perhitungan pressure drop	58

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
ρ	Massa jenis (kg/m^3)
f	faktor gesekan
ΔP	Penurunan tekanan (Pa)
v	kecepatan (m/s)
D	Diameter (m)
Q	Debit Fluida (m^3/s)
A	Luas penampang (m^2)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan aliran dalam pipa hingga sekarang masih terus berlanjut. Sudah banyak hasil – hasil dan kajian aliran tersebut yang digunakan, baik dalam bidang penelitian mekanika fluida, maupun penggunaannya dalam bidang industry, terutama dalam penerapannya di lapangan. Perkembangan yang pesat ini telah mendorong para ahli untuk membuat kajian aliran dalam pipa yang lebih praktis dan efisien. Sekarang ini bukan hal yang baru lagi apabila kita mendapatkan paket - paket penyelesaian masalah aliran fluida dalam bentuk program-program computer. Sebagai contoh, dalam perhitungan kecepatan, debit, drop tekanan, perhitungan kerugian-kerugian (losses), dan lain-lain, kesemuanya dapat program yang telah tersedia. Jadi tergantung dari data yang tersedia dan apa yang hendak dihitung.

Akan tetapi satu hal yang pasti bahwa dalam penyusunan dan pembuatan tersebut tidak terlepas dan persamaan-persamaan dasar dan empiris yang telah ditemukan sebelumnya oleh para peneliti. Pertanyaannya sekarang adalah sejauh mana tingkat akurasi dan persamaan-persamaan yang digunakan tersebut[1].

Mengetahui tingkat akurasi persamaan-persamaan yang digunakan dalam kajian aliran dalam pipa sangat diperlukan, terutama untuk menghemat biaya instalasi perpipaan secara keseluruhan. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menguji keakuratan persamaan - persamaan tersebut di atas adalah dengan menentukan dan menghitung kerugian head dan fluida secara teoritis dan dengan simulasi.

Untuk mengalirkan fluida dari tempat yang satu ke tempat yang lain diperlukan suatu peralatan. Selain peralatan utama yang digunakan, ada bagian - bagian yang tidak kalah penting dimana dalam bagian ini, sering terjadi peristiwa peristiwa yang dapat mengurangi efisiensi kerja yang diinginkan. Bagian dari peralatan ini dapat berupa pipa - pipa yang dihubungkan. Dalam menggunakan pipa yang harus diperhatikan adalah karakteristik dari fluida yang digunakan, misalnya: sifat korosi, explosive, racun, suhu dan tekanan. Apabila fluida dilewatkan ke dalam pipa maka akan terjadi gesekan antara pipa dengan fluida tersebut. Besarnya

gesekan yang terjadi tergantung pada kecepatan, kekerasan pipa, diameter dan viskositas fluida yang digunakan [2].

Bentuk-bentuk kerugian energy pada aliran fluida antara lain dijumpai pada aliran dalam pipa. Kerugian - kerugian tersebut diakibatkan oleh adanya gesekan dengan dinding, perubahan luas penampang, sambungan, katup - katup, belokan pipa dan kerugian-kerugian khusus lainnya. Pada belokan atau lengkungan kerugian energy aliran yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan pipa lurus.

Berangkat dari permasalahan ini penulis akan menganalisa pengaruh variasi elbow dan bukaan katup terhadap perubahan kecepatan dan *pressure drop* pada pipa. Untuk mengetahui pengaruh dan nilai tekanan yang berubah pada aliran pipa ini penulis menggunakan metode simulasi *computational fluid dynamics* (CFD).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya maka dapat ditarik perumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh kecepatan aliran fluida terhadap *pressure drop* pada berbagai variasi elbow?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan aliran fluida terhadap pola aliran kaitannya dengan bilangan Reynold?
3. Berapa nilai koefisien gesek pada masing-masing belokan dan bukaan katup?

1.3 Batasan Masalah

Sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir, maka penulis memberikan batasan masalah agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu melebar. Batasan masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan di laboratorium mesin - mesin fluida.
2. Penelitian ini berfokus pada bagian pipa elbow radius besar, pipa elbow radius kecil, pipa elbow sudut patah, ball valve, gate valve dan pipa reducer yang ada di laboratorium mekanika fluida.
3. Dalam penelitian ini tidak melakukan tinjauan ekonomi/biaya.
4. Metode yang digunakan adalah CFD (*Computational Fluid Dynamics*).
5. Desain pipa dengan variasi kecepatan dan tekanan dengan simulasi untuk

mengetahui berapa total nilai kehilangan tekanan aliran air.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh kecepatan aliran fluida terhadap *pressure drop* pada berbagai variasi elbow.
2. Mengetahui pengaruh kecepatan aliran fluida terhadap pola aliran kaitannya dengan bilangan Reynold.
3. Mengetahui nilai koefisien gesek pada masing-masing belokan dan bukaan katup.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah untuk menambah wawasan tentang pengaruh perubahan kecepatan terhadap *pressure drop* aliran pada pipa dan sebagai referensi bagi pembaca untuk membandingkan penerapan ilmu secara teori dan dengan menggunakan simulasi tentang sejauh mana tingkat akurasi dari persamaan-persamaan tersebut.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dalam memahami penulisan skripsi ini, disusun secara singkat sistematika penulisan laporan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Landasan teori Bab ini menjelaskan teori-teori aliran fluida, sifat-sifat fluida dan persamaan-persamaan fluida yang mendukung dalam proses analisa dan penyelesaian masalah pada penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Data dan Metode Penelitian Bab ini menjelaskan jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, perolehan data, penyajian data dan tahapan-tahapan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa dan pembahasan pada bab ini melakukan simulasi pemodelan pada software ansys CFX dan menentukan pressure drop, bilangan Reynold, dan perhitungan koefisien gesek.

BAB V PENUTUP

Penutup Bab ini berisi kesimpulan, saran, daftar pustaka serta lampiran pendukung.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Klasifikasi Fluida

Fluida merupakan suatu zat yang tidak mampu menahan gaya geser yang bekerja sehingga akan mengalami deformasi. Fluida dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian tetapi secara garis besar fluida dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu :

2.1.1 Fluida newtonian

Fluida Newtonian adalah suatu jenis fluida yang memiliki kurva shear stress dan gradient kecepatan yang linier, seperti air, udara, ethanol, benzene, dll. Fluida Newtonian akan terus mengalir dan viskositas fluida tidak berubah sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Viskositas fluida akan berubah jika terjadi perubahan temperature. Pada dasarnya fluida Newtonian adalah fluida yang mengikuti hukum Newton tentang aliran.

2.1.2 Fluida non-newtonian

Fluida Non-Newtonian adalah fluida yang tidak tahan terhadap tegangan geser (shear stress), gradient kecepatan (shear rate), dan temperature seperti cat, minyak pelumas, darah, bubur kertas, obat-obatan cair, dan lain-lain. Viskositas fluida Non-Newtonian merupakan fungsi dari waktu dimana gradient kecepatannya tidak linier dan tidak mengikuti hukum Newton tentang aliran.

2.2. Aliran Fluida

Dalam suatu aliran yang melewati sistem atau instalasi pipa maka terjadi suatu hambatan aliran, hambatan tersebut disebabkan oleh faktor-faktor bentuk instalasi. Hambatan tersebut dapat menyebabkan turunnya energy dari fluida tersebut yang sering disebut dengan kerugian tinggi tekanan (head loss) atau penurunan tekanan (pressure drop) yang disebabkan oleh pengaruh gesekan fluida (friction losses) dan perubahan pola aliran terjadi karena fluida harus mengikuti bentuk dari dindingnya.

2.2.1 Klasifikasi aliran fluida

Berdasarkan pengujian yang dilakukan oleh HGL.Hagen (1839) penurunan tekanan berubah secara linier dengan kecepatan sampai kira-kira 0,3m/s. namun, diatas sekitar 0,66 m/s penurunan tekanan hampir sebanding dengan kecepatan kuadrat kecepatan ($\Delta P \approx V^{1,75}$). Pada tahun 1883 Osborne Reynoldsmenunjukkan bahwa penurunan tekanan tergantung pada parameter: kerapatan (ρ), kecepatan aliran (V), diameter (D), dan viscositas absolut (μ) yang selanjutnya dikenal dengan bilangan Reynolds penurunan tekanan merupakan fungsi dari faktor gesekan (λ) dan kekerasan relative dari dinding pada (ε/D) jadi:

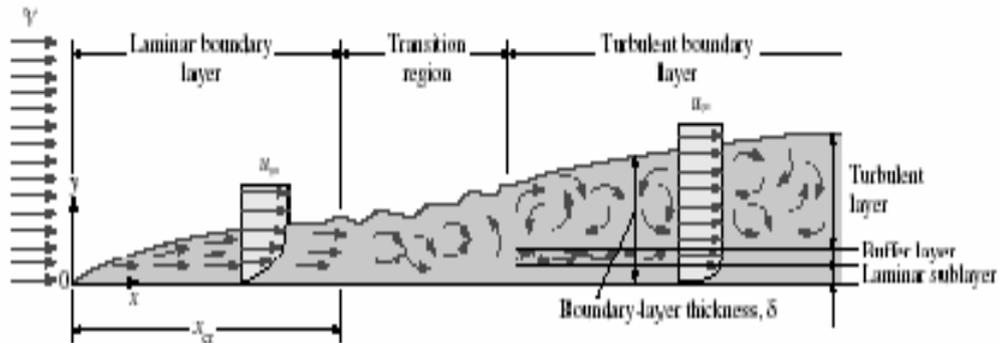
$$\lambda = f(\text{Re}, \varepsilon/D) \quad (1)$$

2.2.2 Aliran laminar dan turbulen

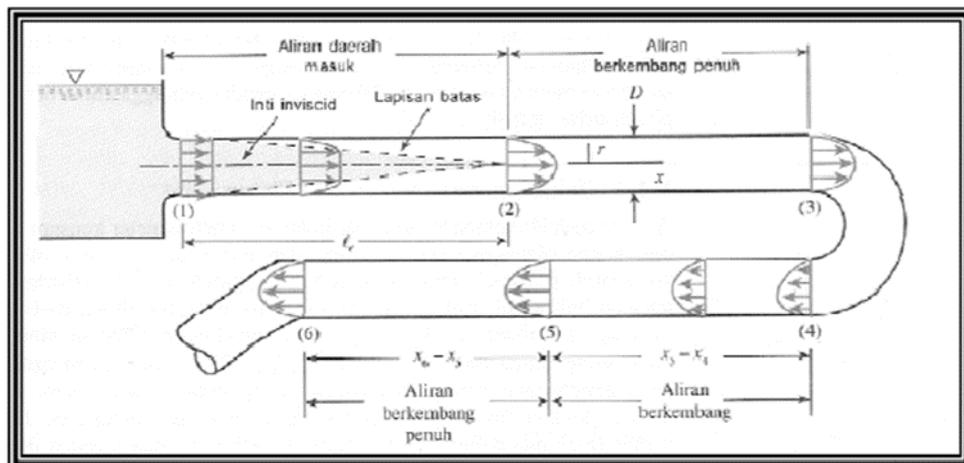
Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar pada lapisan yang bersebelahan dengan saling bertukar momentum secara molekuler saja. Kecenderungan ke arah ketidakstabilan dan turbulensi diredam habis oleh gaya-gaya geser viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan.

Dalam aliran turbulen, partikel-partikel fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang sangat tidak teratur, dengan mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain. Aliran turbulen dapat berskala kecil yang terdiri dari sejumlah besar pusaran-pusaran kecil yang cepat yang mengubah energi mekanik menjadi ketidakmampubalikan melalui kerja viskos, atau dapat berskala besar seperti pusaran-pusaran besar yang berada di sungai atau hampasan udara. Pusaran-pusaran besar membangkitkan pusaran-pusaran yang kecil yang pada gilirannya menciptakan turbulensi berskala kecil. Aliran turbulen berskala kecil mempunyai fluktuasi-fluktuasi kecil kecepatan yang terjadi dengan frekuensi yang tinggi. Pada umumnya, intensitas turbulensi meningkat dengan meningkatnya Bilangan Reynolds. Aliran akan mengalami proses transisi dari aliran laminar ke aliran turbulen sebelum aliran tersebut turbulen. Pada aliran

internal, aliran transisi dari aliran laminar ke aliran turbulen.



Gambar 2.1 Proses berkembangnya aliran di atas plat (sumber: <https://infimech.co.id/>)



Gambar 2.2 Aliran dalam pipa dari aliran sedang berkembang hingga aliran berkembang penuh (sumber: <https://mekanikafluidatm.wordpress.com/>)

Kondisi ini akan semakin berubah seiring bertambahnya panjang dari inlet. Distribusi kecepatan yang terjadi masing mengalami perubahan bentuk kontur. Setelah aliran mengalami fully developed flow atau berkembang penuh, maka distribusi kecepatan akan seragam untuk jarak dari inlet semakin panjang.

2.2.3 Koefisien gesek

Dalam suatu aliran yang melewati sistem atau instalasi pipa maka terjadi suatu hambatan aliran. Hambatan tersebut disebabkan oleh faktor-faktor bentuk instalasi. Hambatan tersebut dapat menyebabkan turunnya energi dari fluida yang sering disebut dengan kerugian tekanan (head loss) atau penurunan tekanan (pressure drop) yang disebabkan oleh pengaruh gesekan fluida (friction losses) dan perubahan pola aliran. Pada kondisi aliran laminar, hambatan gesek tersebut hanya dipengaruhi oleh kekentalan fluida. Namun, pada aliran turbulen hambatan

tersebut dipengaruhi oleh kekentalan fluida dan kekasaran permukaan pipa.

Pada tahun 1883 Osborne Reynolds menunjukkan bahwa penurunan tekanan tergantung pada parameter : kerapatan (ρ), kecepatan aliran (V), diameter (D), dan viskositas dinamik (μ) yang selanjutnya dikenal dengan bilangan Reynolds, penurunan tekanan merupakan fungsi dari faktor gesekan (f) dan kekasaran relatif dari dinding (ϵ/D).

$$f = \phi (Re, \epsilon/D) \quad (2)$$

Hambatan gesek menyebabkan kerugian jatuh tekanan, Δh . Ini didapatkan dari persamaan Darcy dan Weisbach (1806-1871):

$$f = \left(\frac{L}{D} \right) \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Dimana f adalah koefisien gesek Darcy dan dapat ditentukan dengan rumus $f = \frac{64}{Re}$ untuk aliran laminar. Terlihat hubungan yang linear antar koefisien gesek dengan bilangan Reynolds, sedangkan untuk aliran turbulen nilai koefisien gesek tersebut banyak dipengaruhi oleh faktor – faktor lain misalnya kekasaran pipa. Kekasaran permukaan pipa menjadi faktor yang dominan menentukan besarnya koefisien gesek yang terjadi. Nilai kekasaran permukaan dinotasikan dengan simbol e dapat ditentukan dengan rumus :

$$\epsilon = \frac{e}{D} \quad (4)$$

Dimana ϵ adalah kekasaran relatif. Pengaruh kekasaran permukaan pipa diteliti secara luas pertama kali oleh Nikuradse. Hasil dari percobaannya menunjukkan bahwa kekasaran permukaan sangat mempengaruhi aliran pada bilangan Reynolds tinggi, nilai koefisien gesek tergantung pada bilangan Reynolds. Von Karman menurunkan rumus untuk aliran turbulent dengan memasukkan kekasaran permukaan. Hasil dari penurunan rumus tersebut adalah:

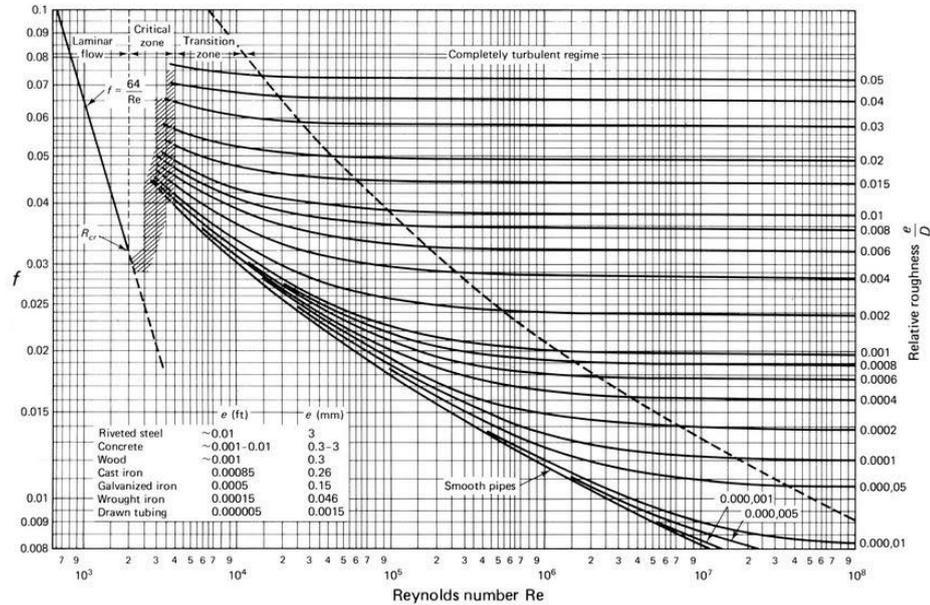
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 + 2 \log \frac{D}{e}. \quad (5)$$

Persamaan Blasius juga menggambarkan nilai koefisien gesek untuk aliran turbulent yaitu:

$$f = 0.3164 Re^{-1/4} \quad (6)$$

Lewis F. Moody (1880-1953) mengembangkan hasil percobaan Nikuradse

ke dalam bentuk model matematika dan berhasil memplot sebuah grafik hubungan koefisien gesek dengan bilangan Reynolds pada aliran turbulen dengan variasi kekasaran permukaan. Grafik tersebut dikenal dengan nama diagram Moody.

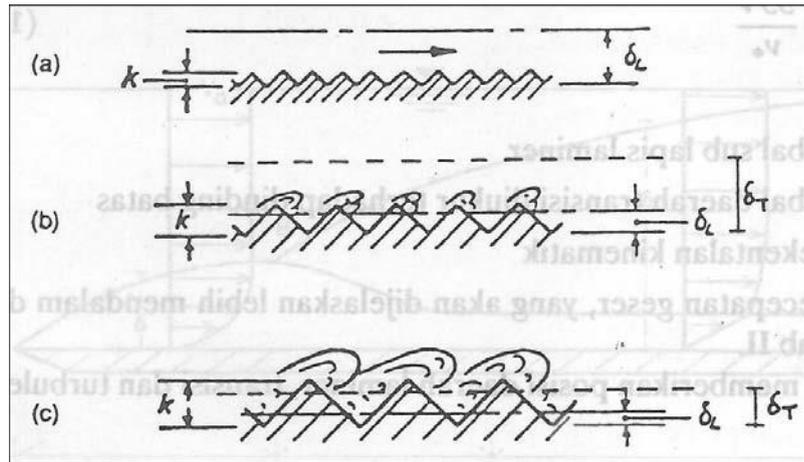


Gambar 2.3 Diagram Moody (*sumber: <https://www.engineersedge.com>*)

2.2.4 Kekasaran permukaan

Pada zat cair ideal, aliran melalui bidang atas mempunyai distribusi kecepatan merata. Sedang pada zat cair riil, karena adanya pengaruh kekentalan, kecepatan di daerah dekat bidang batas mengalami perlambatan dan pada bidang batas kecepatan adalah nol. Lapisan zat cair di dekat bidang batas di mana pengaruh kekentalan dominan disebut dengan lapis batas.

Konsep adanya sub lapis laminer di dalam lapis batas pada aliran turbulen dapat digunakan untuk menjelaskan perilaku kekasaran permukaan. Apabila permukaan bidang batas dibesarkan, akan terlihat bahwa permukaan tersebut tidak halus seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.6 Tinggi efektif ketidakteraturan permukaan yang membentuk kekasaran disebut dengan tinggi kekasaran k . Perbandingan antara tinggi kekasaran dan jari-jari hidraulis (k/R) atau diameter pipa (k/D) disebut dengan kekasaran relatif



Gambar 2.4 Pengaruh kekasaran pada sub lapis (sumber: *Journal of Fluid Mechanics*)

Pada gambar 2.4.a tinggi kekasaran lebih kecil dari sub lapis laminar ($k < \delta_L$) sehingga ketidakteraturan permukaan akan sedemikian kecil sehingga kekasaran akan seluruhnya terendam di dalam lapis laminar. Dalam hal ini kekasaran tidak mempunyai pengaruh terhadap aliran di luar sub lapis laminar, dan permukaan batas tersebut dengan hidraulis licin.

Table dibawah menuliskan beberapa nilai kekasaran (k). Untuk pipa tua nilai k dapat jauh lebih besar dari pipa baru, yang tergantung pada umur pipa dan sifat zat cair yang dialirkan.

TABLE 9-1 Pipe roughness—Design values

Material	Roughness, ϵ (m)	Roughness, ϵ (ft)
Glass, plastic	Smooth	Smooth
Copper, brass, lead (tubing)	1.5×10^{-6}	5×10^{-6}
Cast iron—uncoated	2.4×10^{-4}	8×10^{-4}
Cast iron—asphalt coated	1.2×10^{-4}	4×10^{-4}
Commercial steel or welded steel	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Wrought iron	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Riveted steel	1.8×10^{-3}	6×10^{-3}
Concrete	1.2×10^{-3}	4×10^{-3}

Gambar 2.5 Kekasaran pada beberapa permukaan dinding pipa (sumber: *Journal of Fluid Mechanics*)

Tidaklah mudah untuk menentukan ketergantungan fungsional dari factor gesekan terhadap bilangan Reynolds dan kekasaran relatif. Kebanyakan dari informasi ini adalah hasil eksperimen-eksperimen yang dilakukan oleh J. Nikoradse pada tahun 1933 dan diperkuat oleh banyak peneliti lainnya. Satu kesulitan terletak

pada penentuan kekasaran pipa. Nikuradse menggunakan pipa yang dikasarkan secara buatan dengan menempelkan butiran pasir yang diketahui ukurannya pada dinding pipa untuk tekanan yang diperlukan untuk menghasilkan laju aliran yang diinginkan diukur dan data tersebut kemudian dikonversikan menjadi faktor gesekan untuk kondisi bilangan Reynolds dan kekasaran relatif yang berkaitan.

Penelitian lainnya dilakukan oleh White A. tahun 1966 dengan menggunakan pipa yang dikasarkan dengan bentuk ulir menggunakan fluida air dan air yang ditambahkan variasi larutan polyox.

2.3. Sifat – Sifat Fluida

Ada beberapa sifat fluida yang perlu diketahui, antara lain:

2.3.1 Viskositas

Viskositas (kekentalan) adalah ukuran ketahanan fluida terhadap tegangan geser pada dinding dimana fluida tersebut mengalir. Hukum viskositas pada fluida Newtonian menyatakan bahwa laju aliran dikalikan dengan viskositas berbanding lurus terhadap tegangan geser.

Pada dasarnya viskositas disebabkan karena kohesi dan pertukaran momentum molekuler diantara lapisan layer fluida pada saat fluida tersebut mengalir. Viskositas fluida ini dipengaruhi oleh banyak hal, misalnya temperature, konsentrasi larutan, bentuk partikel, dll. Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk, antara lain:

a) Viskositas Dinamik

Viskositas dinamik adalah perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besar nilai viskositas dinamik tergantung dari faktor seperti yang dijelaskan sebelumnya. Untuk viskositas dinamik air pada temperature lingkungan $T = 27^{\circ}C$ adalah $8.6 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}$.

b) Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik adalah perbandingan viskositas dinamik terhadap density (kerapatan) massa jenis dari fluida tersebut. Viskositas ini terdapat dalam beberapa penerapan antara lain dalam bilangan Reynolds yang merupakan bilangan tak berdimensi. Nilai viskositas kinematik air pada temperature standar $T = 27^{\circ}C$ adalah $8.7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Pada fluida Non-Newtonian viskositasnya ditentukan oleh Apperant Viscosity (kekentalan sesaat) karena fluida Non-Newtonian tersebut memiliki suatu sifat histerisis, hal ini disebabkan sulitnya mencari viskositas aslinya.

2.3.2 Bilangan *reynolds*

Bilangan *Reynolds* adalah bilangan yang tak berdimensi yang digunakan untuk menentukan sifat pokok aliran, apakah laminar atau turbulen, serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen terhadap kecenderungan laminar. Reynolds menemukan bahwa aliran selalu menjadi laminar bila kecepatannya diturunkan sedemikian sehingga bilangan *Re* lebih kecil dari 2000. Untuk instalasi pipa biasa, aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen dalam daerah bilangan *Re* dari 2000 sampai 4000 (Steeter, V.L., 1996). Di atas nilai 4000 akan menghasilkan aliran turbulen dan intensitas turbulensi meningkat dengan meningkatnya Bilangan Reynolds. Untuk pipa bundar yang mengalir penuh berlaku persamaan:

$$Re = \frac{vd\rho}{\mu} = \frac{vd}{\nu} \quad (7)$$

Dimana

V = Kecepatan rata-rata aliran [m/s]

d = Diameter dalam pipa [m]

ν = viskositas kinematik fluida [m^2/s]

μ = viskositas dinamik fluida [kg/ms]

Analisis lebih lanjut terhadap persamaan Bilangan Reynolds dapat dijelaskan bahwa untuk nilai *Re* yang besar atau dengan kata lain semua suku dalam pembilang adalah besar dibandingkan penyebut, ini secara tidak langsung menyatakan adanya fluida yang meluas, kecepatan yang tinggi, kerapatan yang besar, viskositas yang sangat kecil atau gabungan hal-hal ekstrim ini. Suku-suku pembilang mempunyai kaitan dengan gaya inersia atau gaya yang diakibatkan oleh percepatan atau perlambatan fluida. suku penyebut merupakan penyebab gaya geser viskos. Jadi parameter Bilangan Reynolds juga dipandang sebagai perbandingan gaya inersia terhadap gaya viskos.

2.3.4 Hukum Bernoulli

Hukum *Bernoulli* adalah hukum yang menyatakan bahwa jumlah energy suatu titik dengan titik yang lainnya bernilai sama dalam suatu aliran fluida yang tertutup. Hukum ini dinyatakan dalam persamaan kontinuitas:

$$Q = V \cdot A \quad (8)$$

Dimana:

Q = Debit aliran (m^2/s)

V = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang pipa (m^2)

Hukum Bernoulli berlaku untuk dua tipe aliran, yaitu aliran fluida tak-termampatkan (*incompressible flow*) dan aliran fluida termampatkan (*compressible flow*).

2.3.5 Penurunan tekanan (*pressure drop*)

Penurunan Tekanan (*Pressure Drop*) adalah peristiwa menurunnya tekanan di dua titik berbeda yang sejajar. Besarnya nilai perhitungan *pressure drop* berbeda antara pipa horisontal dan pipa vertikal. Penurunan tekanan terjadi karena beberapa faktor. Salah satu faktor yang berpotensi untuk menambah besarnya nilai *Pressure Drop* adalah faktor gesekan yang terjadi di sepanjang jalur pipa. *Pressure drop* dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut:

$$\Delta P = \frac{v^2 f L \rho}{2D} \quad (9)$$

Dimana:

ΔP = Penurunan tekanan (Pa)

v = kecepatan (m/s)

f = faktor gesekan

L = Panjang pipa (m)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

D = Diameter pipa (m)

2.4. Persamaan Fluida

2.4.1 Laju aliran volume

Laju aliran volume disebut juga debit aliran (Q) yaitu jumlah volume aliran per satuan waktu. Laju aliran bisa didapatkan dengan persamaan kontinuitas dimana berbunyi fluida yang tak termampatkan, hasil kali antara kelajuan aliran fluida dalam suatu wadah dengan luas penampang wadah selalu konstan. Debit aliran dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut:

$$Q = A V \quad (10)$$

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \quad (11)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran [m/s]

$A_{1,2}$ = Luas penampang pipa [m]

Q = Debit aliran [m²/s]

D = Diameter

Selain persamaan diatas dapat juga menggunakan persamaan lain sebagai berikut :

$$Q = \frac{v}{t} \quad (12)$$

Dimana :

v = Volume aliran [m³]

Q = Debit aliran [m³/s]

t = waktu aliran [s]

2.5. Computational Fluid Dynamic

2.5.1 Metode computational fluid dynamic

Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah metode penghitungan, memprediksi, dan pendekatan aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer. Aliran fluida dalam dunia perpipaan memiliki banyak sekali jenis dan karakteristik tertentu yang begitu kompleks. Maka dari itu untuk mempermudah dalam menganalisa aliran dalam perpipaan dapat direpresentasikan dalam bentuk permodelan komputasi.

2.5.2 Ansys CFX

Salah satu software yang dapat digunakan untuk permodelan aliran dalam sistem fluida adalah Ansys CFX. Ansys CFX adalah software multiguna yang dapat digunakan untuk memodelkan aliran dengan karakteristik tertentu dengan hasil output kecepatan , tekanan , temperatur dan tipe aliran.

Ansys CFX dikhususkan untuk menganalisa pipa yang sudah di meshing. Ansys CFX terdiri dari 3 bagian yaitu Pre, Solver dan Post. CFX-Pre mendefinisikan fluida yang akan dianalisa, mulai dari menentukan kecepatan fluida di inlet dan outlet, tekanan dan temperatur fluida dan boundary condition yang diperlukan. Kemudian CFX-Solver akan menganalisa (running) semua yang telah ditetapkan di CFX-Pre dan hasilnya dapat dilihat pada CFX-Post berupa tabel, grafik maupun kontur berupa gambar lengkap dengan sebaran warnanya.