

# Aplikasi Berbasis Web Untuk Desain Hidrolika Pengeboran

*Web-based Application for Drilling Hydraulics Design*

Meredita Susanty<sup>1</sup>, Raka Sudira Wardana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Pertamina

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Pertamina

E-mail: <sup>1</sup>meredita.susanty@universitaspertamina.ac.id, <sup>2</sup>raka.sw@universitaspertamina.ac.id

## Abstrak

Desain hidrolika merupakan salah satu parameter penting pada operasi pengeboran minyak, gas, dan energi panas bumi. Kesalahan dalam menentukan parameter hidrolika pengeboran akan menyebabkan permasalahan pengeboran seperti semburan liar, kehilangan sirkulasi dan juga pipa terjepit. Dalam proses mendesain parameter hidrolika pengeboran perlu memperhitungkan banyak parameter seperti tipe rheologi fluida pengeboran, tipe peralatan di permukaan, komponen pipa pengeboran, ukuran nozzle bit dan konfigurasi sumur pengeboran. Prosedur perhitungan iteratif yang panjang diperlukan untuk menentukan desain parameter hidrolika pengeboran. Oleh karena itu perangkat lunak sering digunakan. Sayangnya, mayoritas *software* saat ini masih berbasis *desktop*. Persyaratan untuk prosedur penginstalan, lisensi terbatas, dan ketidakmampuan untuk menjalankan fungsi tertentu pada PC tertentu semuanya dapat mempersulit penggunaan program berbasis desktop. Kondisi kerja saat ini mengharuskan pekerjaan dilakukan dari mana saja. Riset ini mengatasi keterbatasan aksesibilitas pada aplikasi yang umumnya digunakan oleh akademisi dan praktisi di industri minyak dan gas serta panas bumi untuk praktisi dan akademisi untuk membangun sumur lintasan dengan mengembangkan perangkat lunak berbasis *web* yang dapat digunakan secara gratis. Aplikasi web-based dapat diakses melalui internet memungkinkan akses dari berbagai perangkat dan lokasi yang berbeda. Pengembangan dilakukan menggunakan pendekatan *waterfall*; pemodelan dan perancangan aplikasi menggunakan *unified modeling language* (UML) dan pengujian fungsional menggunakan metode *black box*.

Kata kunci: Hidrolika Pengeboran, Aplikasi Berbasis Web

## Abstract

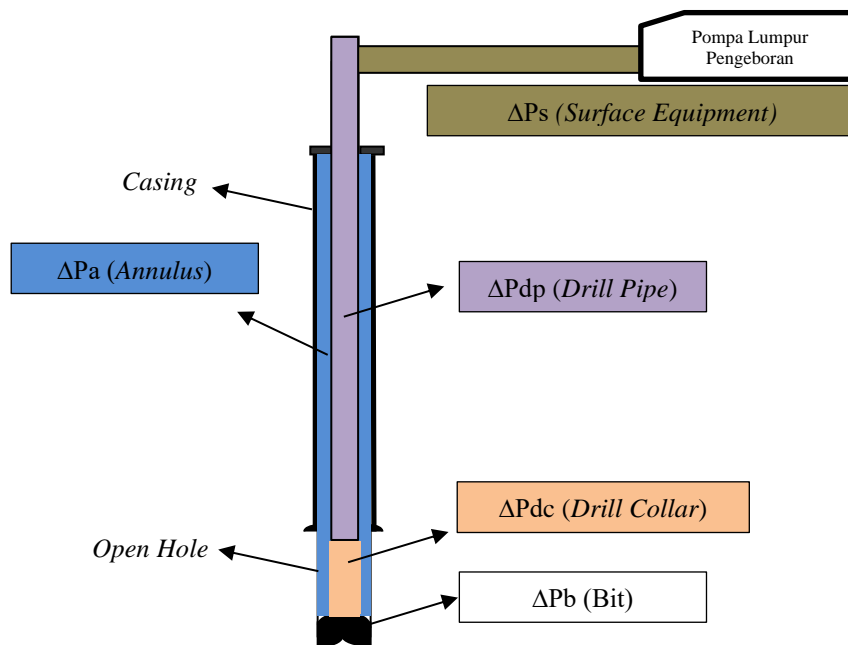
*Hydraulics design is an important parameter in oil, gas and geothermal energy drilling operations. Errors in determining the parameters of drilling hydraulics will cause drilling problems such as wild blows, loss of circulation and also stuck pipes. In the process of designing drilling hydraulics parameters, it is necessary to take into account many parameters such as the rheological type of drilling fluid, type of surface equipment, drilling pipe components, nozzle bit size and drilling well configuration. A lengthy iterative calculation procedure is required to determine the design of drilling hydraulics parameters. Therefore software is often used. Unfortunately, the majority of software is still desktop-based. Requirements for installation procedures, limited licenses, and the inability to perform certain functions on certain PCs can all make it difficult to use desktop-based programs. Current working conditions require work to be done from anywhere. As a result, a web-based tool that practitioners and academics alike could use to build track wells using any device with an internet connection was required. The aim of this research is to develop web-based software that can be used by academics and practitioners in the oil and gas and geothermal industries to design drilling hydraulics parameters.*

Keywords: Drilling Hydraulics, Web-Based Application

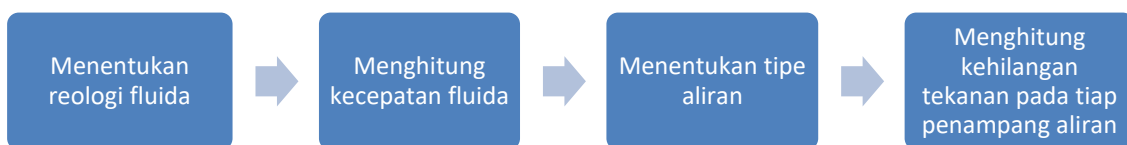
## 1. PENDAHULUAN

Pada operasi pengeboran minyak, gas dan panas bumi, salah satu parameter penting yang harus didesain adalah hidrolika pengeboran. Hidrolika merupakan cabang ilmu yang mempelajari proses perpindahan liquid melalui pipa ataupun saluran. Hidrolika pengeboran merupakan parameter yang membahas tentang proses aliran fluida pada sistem sirkulasi pengeboran, tekanan pada sistem dan kehilangan tekanan yang terjadi di sepanjang sistem sirkulasi pengeboran. Pompa pengeboran merupakan salah satu komponen pada sistem sirkulasi pengeboran yang berperan penting pada hidrolika pengeboran.

Pada pengeboran sumur vertikal, biasanya rangkaian pipa pengeboran akan terdiri *drill pipe* dan *drill collar* seperti terlihat pada Gambar 1. Seperti terlihat pada Gambar 1, aliran fluida di dalam sistem sirkulasi akan mengalir dari *surface equipment*, masuk ke dalam *drill pipe* dan *drill collar* kemudian keluar dari *bit* pengeboran dan melalui *annulus*. *Annulus* merupakan rongga di antara pipa pengeboran dengan dinding formasi (*open hole*) dan *casing*. Dengan konfigurasi pipa tersebut, maka kehilangan tekanan di sepanjang sistem sirkulasi terjadi pada *surface equipment* ( $\Delta P_s$ ), *drill pipe* ( $\Delta P_{dp}$ ), *drill collar* ( $\Delta P_{dc}$ ), *bit* ( $\Delta P_b$ ), dan *annulus* ( $\Delta P_a$ ). Untuk menghitung kehilangan tekanan sepanjang sistem sirkulasi pengeboran seluruh kehilangan tekanan di sepanjang sistem sirkulasi dijumlahkan.



Gambar 1. Sistem Sirkulasi Pengeboran



Gambar 2. Proses Perhitungan Kehilangan Tekanan

Pompa lumpur pengeboran harus didesain untuk bisa memberikan tekanan yang cukup untuk mengatasi kehilangan tekanan di sepanjang sistem sirkulasi pengeboran. Oleh karena itu perhitungan kehilangan tekanan di sepanjang sistem sirkulasi pengeboran penting dilakukan dalam mendesain kemampuan pompa lumpur pengeboran. Bila desain pompa lumpur

pengeboran tidak dilakukan dengan tepat maka akan berpengaruh pengangkatan serpih batuan pengeboran (*cutting*) dan juga kecepatan laju pengeboran.

Dalam proses menghitung kehilangan tekanan pada sistem sirkulasi pengeboran perlu memperhitungkan banyak parameter seperti tipe rheologi fluida pengeboran, tipe peralatan di permukaan, komponen pipa pengeboran, ukuran *nozzle bit* dan konfigurasi sumur pengeboran. Diperlukan proses perhitungan yang cukup panjang untuk mendapatkan total kehilangan tekanan pada sistem sirkulasi pengeboran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pertama, menentukan Rheologi dari fluida pengeboran yang digunakan. Rheologi adalah studi yang mempelajari tentang pergerakan fluida, dan sifat fluida seperti viskositas yang dapat mempengaruhi fungsi penting lumpur pengeboran [1]. Biasanya, sifat rheologi diukur menggunakan viskometer rotasi. Rheologi yang umum digunakan pada pengeboran adalah model Newtonian, Bingham Plastic dan Power Law [2]. Fluida Newtonian adalah fluida yang proporsi antara tegangan geser dan laju geser tidak tergantung pada laju geser [3]. Contoh fluida Newtonian adalah air, gas, dan minyak ringan [4]. Model Bingham memiliki asumsi bahwa dibutuhkan tekanan tertentu untuk membuat fluida menjadi bergerak [5]. Model Bingham cocok untuk fluida newtonian yang ditambahkan solid dengan karakter seperti clay [6]. Pada model Power Law, digunakan standar persamaan matematika untuk menggambarkan kurva non linier [5]. Model Lumpur pengeboran yang tidak berbahan dasar air akan lebih cocok untuk dimodelkan dengan model Power Law [7].

Kedua, setelah mengetahui tipe fluida, dilakukan perhitungan kecepatan fluida sesuai dengan laju alir dan diameter penampang. Ketiga, menentukan tipe aliran fluida. Terdapat tiga tipe aliran fluida yaitu [8]:

1. Aliran laminar: dalam aliran laminar, lapisan fluida bergerak sejajar satu sama lain secara terkendali.
2. Aliran turbulen: aliran ini terjadi pada laju geser yang tinggi, di mana partikel fluida bergerak secara tidak beraturan dan kacau serta terdorong ke depan oleh pusaran arus.
3. Aliran transisi: aliran ini terjadi saat aliran berubah dari laminar ke turbulen atau sebaliknya

Penentuan tipe aliran fluida dilakukan dengan menghitung *Reynold Number* (Re) yang merupakan rasio antara gaya inersia dan gaya viskositas pada fluida dalam sistem untuk menentukan tipe aliran fluida dalam sistem. Re dihitung berdasarkan masa jenis fluida, kecepatan fluida, karakteristik sistem seperti diameter pipa, dan viskositas dinamis fluida. Ketika Re bernilai rendah, aliran cenderung menjadi laminar atau beraturan. Sebaliknya, ketika Re bernilai tinggi, aliran cenderung menjadi turbulen atau tidak beraturan.

Setelah mendapatkan informasi kondisi tipe fluida, tipe aliran dan penampang saluran yang digunakan, baru dapat ditentukan besarnya kehilangan tekanan. Karena adanya perbedaan bentuk penampang saluran, persamaan yang digunakan untuk menghitung kehilangan tekanan pada tiap bagian rangkaian pipa (*surface equipment/drill pipe/ drill collar/drill bit/annulus*) akan berbeda pula. Untuk menghitung kehilangan tekanan pada peralatan di permukaan dihitung dengan melakukan ekuivalensi peralatan di permukaan dengan Drill Pipe. International Association of Drilling Contractors (IADC) membagi tipe peralatan di permukaan menjadi empat kategori, yakni *stand pipe*, *rotary hose*, *swivel*, dan *kelly*. Pada umumnya, nilai ekuivalensi *standpipe*, *rotary hose*, *swivel*, dan *kelly* akan lebih rendah daripada nilai ekuivalensi drill pipe. Oleh karena itu, peralatan ini harus dipilih dengan hati-hati untuk memastikan bahwa aliran fluida dalam sumur tetap lancar dan tidak terganggu oleh tekanan yang tidak seimbang di dalam sistem.

Umumnya, aplikasi berbasis desktop seperti Drillsoft®<sup>1</sup> menjadi pilihan utama untuk keperluan tersebut. Aplikasi ini dapat digunakan untuk mendesain aplikasi hidrolika, baik untuk Pengeboran Tekanan Dinamis maupun pengeboran konvensional. Namun, salah satu

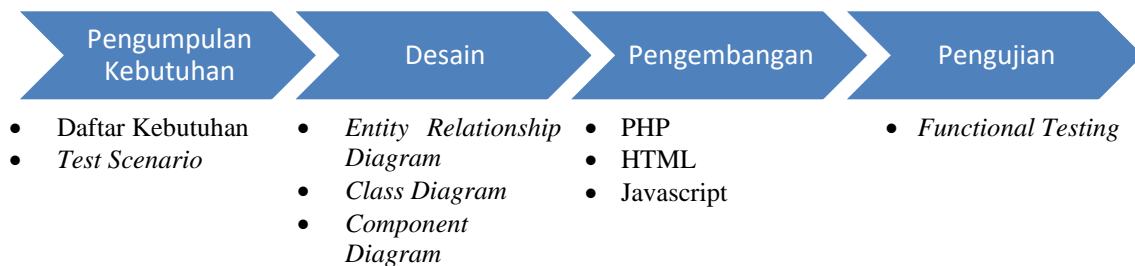
---

<sup>1</sup> <https://www.drillsoft.com/software/>

keterbatasan dari aplikasi berbasis desktop adalah bahwa pengguna harus menginstalnya terlebih dahulu di komputer tertentu sebelum dapat menggunakannya, dan seluruh data terkait aplikasi disimpan secara lokal di komputer tersebut. Selain itu, aplikasi ini juga berbayar, yang dapat menjadi hambatan bagi beberapa pengguna yang memerlukan solusi yang lebih terjangkau. Untuk mengatasi keterbatasan aksesibilitas yang ada saat ini, penelitian ini bertujuan membangun aplikasi berbasis web yang bisa digunakan untuk mendesain parameter hidrolika pengeboran secara *online* oleh akademisi maupun praktisi di industri minyak, gas, dan panas bumi. Aplikasi *web-based* dapat diakses melalui internet tanpa perlu instalasi pada setiap komputer, sehingga memungkinkan akses dari berbagai perangkat dan lokasi yang berbeda. Selain itu, aplikasi diberikan secara cuma-cuma yang dapat mengurangi biaya bagi para pengguna. Diharapkan dengan adanya aplikasi ini bisa mempermudah para praktisi migas dan panas bumi dalam melakukan operasi pengeboran.

## 2. METODE PENELITIAN

Rancang bangun aplikasi mobile dilakukan menggunakan mengikuti metodologi *waterfall* [9]–[11] dalam pengembangan perangkat lunak. Tahapan pengembangan perangkat lunak yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3, yang terdiri dari pengumpulan kebutuhan, desain, *prototyping*, pengembangan perangkat lunak dan pengujian.



Gambar 3. Metodologi Pengembangan Perangkat Lunak

### 2.1 Pengumpulan Kebutuhan

Penelitian ini dimulai dengan penilaian kebutuhan. Tujuan dari pengumpulan persyaratan adalah untuk menentukan fitur mana yang akan dimasukkan dalam aplikasi desain hidrolika. Eksplorasi kebutuhan dilakukan dengan melakukan kajian literatur, perbandingan dengan aplikasi sejenis yang saat ini digunakan, dan wawancara dengan para profesional sektor migas dan panas bumi. Hasil pemeriksaan persyaratan ini didefinisikan dalam spesifikasi persyaratan yang berisi persyaratan fungsional dan non-fungsional. Selama proses pencatatan kebutuhan, percakapan tambahan dilakukan dengan praktisi untuk mengklarifikasi atau memperjelas area yang masih belum jelas atau kurang spesifik. Keluaran dari dokumentasi adalah daftar persyaratan dalam tabel. Untuk memeriksa dan memvalidasi persyaratan yang disiapkan, pendekatan pembuatan kasus uji digunakan. Jika, selama proses verifikasi dan validasi, ditentukan bahwa ada persyaratan yang tidak lengkap dan kebutuhan yang tidak konsisten atau bertentangan dengan persyaratan lainnya, praktisi dikonsultasikan sekali lagi dan kebutuhan tersebut direvisi tergantung pada hasil konsultasi.

### 2.2 Desain

Pada tahapan desain diidentifikasi komponen-komponen perangkat lunak dan keterhubungannya berdasarkan daftar kebutuhan final yang sudah diverifikasi dan validasi. Tujuannya adalah untuk memahami struktur dan organisasi perangkat lunak. Dalam proses desain, sudut pandang yang digunakan meliputi sudut pandang logis, proses, dan fisik [12]. Sudut pandang logis menunjukkan abstraksi dalam sistem sebagai objek atau kelas objek, sedangkan sudut pandang proses menggambarkan bagaimana proses berinteraksi saat berjalan.

Sudut pandang fisik menunjukkan bagaimana perangkat keras dan komponen perangkat lunak didistribusikan dalam sistem. Diagram UML, seperti class diagram, sequence diagram, dan component diagram, digunakan untuk menjelaskan desain dari masing-masing sudut pandang [13].

### 2.3 Pengembangan

Pada tahapan ini dilakukan kegiatan pemrograman untuk merealisasikan desain menjadi suatu perangkat lunak. Pengembangan aplikasi desain hidrolika berbasis web ini dikembangkan dengan memanfaatkan berbagai *tools* dan *library* yang dijabarkan pada Tabel I.

Tabel 1 *Tools* dan *Library* yang Digunakan

<i>Tools/ Library</i>	Deskripsi
JQuery	Pustaka Javascript yang berisikan kumpulan kode atau fungsi program Javascript yang siap dipakai dalam pembuatan aplikasi web
Bootstrap	Framework untuk membuat aplikasi web yang responsive secara cepat, mudah dan gratis. Bootstrap terdiri dari CSS dan HTML untuk menghasilkan Grid, Layout, Typography, Table, Form, Navigation.
Plotly.js	Pustaka yang digunakan untuk membuat graf, diagram dalam bentuk 3 dimensi (3D).
Chart.js	Plugin Javascript yang memanfaatkan element canvas yang dibuat untuk membuat graf, diagram dalam bentuk 2 dimensi (2D).
Laravel	Framework untuk pengembangan website berbasis bahasa pemrograman PHP yang mendukung arsitektur Model View Control
Laravel Excel	Package yang untuk membuat laporan dalam format excel pada framework Laravel
Apache	<i>Open Source Web Server</i>

### 2.4 Pengujian

Setelah proses pengembangan perangkat lunak selesai dilakukan pengujian. Tahap pengujian fungsional dilakukan menggunakan pendekatan *black-box* [14] mengikuti skenario pengujian yang ditentukan pada tahapan validasi dan verifikasi kebutuhan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Pengumpulan Kebutuhan

Dari tahapan pengumpulan kebutuhan didapatkan daftar kebutuhan seperti yang dideskripsikan pada Tabel 2. Untuk setiap perhitungan yang, persamaan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan (1) hingga (15).

Tabel 2 Daftar Kebutuhan Desain *Pressure Loss*

No.	Kebutuhan Menu Aplikasi
1	Window menu "Input Group"
2	Input parameter "Input Measured Depth" - Total Measured Depth [ft]: (ft, desimal, positif real value)
3	Input parameter "Input Hole Section"
3.1	Parameter input "Surface Casing": - Length [ft]: ft, desimal, positif real value - Inner Diameter [inch]: inch, desimal, positif real value

3.2	Parameter input "Open Hole Section": - Length [ft]: ft, desimal, positif real value - Inner Diameter [inch]: inch, desimal, positif real value
4	Input parameter "Input Drill String" - Drill Pipe Length [ft]: desimal, positif real value - Drill Pipe Outer Diameter [in]: desimal, positif real value - Drill Pipe Internal Diameter [in]: desimal, positif real value - Drill Collar Length [ft]: desimal, positif real value - Drill Collar Outer Diameter [in]: desimal, positif real value - Drill Collar Internal Diameter [in]: desimal, positif real value
5	Input parameter "Input Drilling Fluid Information": - Mud Density [ppg]: desimal, positif real value - Plastic Viscosity [cp]: desimal, positif real value - Total Area Nozzle [inch <sup>2</sup> ]: desimal, positif real value - Yield Point [lb/100ft <sup>2</sup> ]: desimal, positif real value - Flow Rate [gpm]: desimal, positif real value - Koefisien Discharge [0.95]: desimal, positif real value
6	Input parameter "Input Surface Equipment Type": - Surface Equipment Type: Dropdown list (Combination 1, combination 2, combination 3, combination 4) - Equivalent Drill Pipe Type: Dropdown list (Equivalent Drill Pipe 3.5", 13.3 lb/ft, Equivalent Drill Pipe 4.5", 16.6 lb/ft, Equivalent Drill Pipe 5", 19.5 lb/ft)
7	Semua parameter wajib diisi
8	Aplikasi mampu melakukan perhitungan total kehilangan tekanan di dalam sistem sirkulasi dengan menggunakan persamaan 1
9	Aplikasi mampu melakukan perhitungan kehilangan tekanan pada surface equipment (sesuai tipe kombinasi yang dipilih) dengan menggunakan persamaan 2 hingga persamaan 6
9.1	Aplikasi mampu menentukan panjang ekivalensi drill pipe berdasarkan tipe kombinasi yang dilihat oleh
9.2	Aplikasi mampu menghitung kecepatan fluida dengan persamaan 2
9.3	Aplikasi mampu menghitung Apparent Viscosity dengan persamaan 3
9.4	Aplikasi mampu menghitung Bilangan Rheynolds dengan menggunakan persamaan 4
9.5	Aplikasi mampu menentukan tipe aliran berdasarkan kriteria $N_{Re} > 2,100$ maka aliran termasuk ke dalam aliran turbulen bila $N_{Re} < 2,100$ maka aliran termasuk ke dalam aliran turbulen
9.6	Aplikasi mampu menghitung kehilangan tekanan sesuai tipe aliran menggunakan persamaan 5 dan 6
10	Aplikasi mampu melakukan perhitungan kehilangan tekanan di dalam rangkaian Drill Pipe dan Drill Collar dengan menggunakan persamaan 2 hingga persamaan 6
10.1	Aplikasi mampu menghitung kecepatan fluida dengan persamaan 2
10.2	Aplikasi mampu menghitung Apparent Viscosity dengan persamaan 3
10.3	Aplikasi mampu menghitung Bilangan Rheynolds dengan menggunakan persamaan 4
10.4	Aplikasi mampu menentukan tipe aliran berdasarkan kriteria $N_{Re} > 2,100$ maka aliran termasuk ke dalam aliran turbulen bila $N_{Re} < 2,100$ maka aliran termasuk ke dalam aliran turbulen
10.5	Aplikasi mampu menghitung kehilangan tekanan sesuai tipe aliran menggunakan persamaan 5 dan 6
11	Aplikasi mampu melakukan perhitungan kehilangan tekanan di bit dengan menggunakan persamaan 7
12	Aplikasi mampu melakukan perhitungan kehilangan tekanan di annulus dengan menggunakan persamaan 8 hingga 12
12.1	Aplikasi mampu menghitung kecepatan fluida dengan persamaan 8
12.2	Aplikasi mampu menghitung Apparent Viscosity dengan persamaan 9

12.3	Aplikasi mampu menghitung Bilangan Rheynolds dengan menggunakan persamaan 10
12.4	Aplikasi mampu menentukan tipe aliran berdasarkan kriteria $N_{Re} > 2,100$ maka aliran termasuk ke dalam aliran turbulen bila $N_{Re} < 2,100$ maka aliran termasuk ke dalam aliran turbulen
12.5	Aplikasi mampu menghitung kehilangan tekanan sesuai tipe aliran menggunakan persamaan 11 dan 12

Kehilangan tekanan di sepanjang sistem sirkulasi pengeboran pada Gambar 1 dihitung dengan persamaan [6]:

$$\Delta P_t = \Delta P_s + \Delta P_{dp} + \Delta P_{dc} + \Delta P_b + \Delta P_a \quad (1)$$

$$v(pipa) = \frac{q}{2.448 d^2} \quad (2)$$

$$\mu = \theta_{300} \quad (3)$$

$$\mu_p = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (4)$$

$$\tau_y = \theta_{300} - \mu_p \quad (5)$$

$$\mu_a(pipa) = \mu_p + \frac{6.66 \tau_y d}{v} \quad (6)$$

$$N_{Re}(pipa) = 928 \frac{\rho v d}{\mu_a} \quad (7)$$

$$\Delta P_s = \Delta P_{dp} = \Delta P_{dc} = \Delta P_f(turbulen) = \frac{\rho^{0.75} v^{1.75} \mu_p^{0.25}}{1,800 d^{1.25}} \Delta L \quad (8)$$

$$\Delta P_s = \Delta P_{dp} = \Delta P_{dc} = \Delta P_f(laminar) = \left( \frac{\mu_p v}{1,500 d^2} + \frac{\tau_y}{225 d} \right) \Delta L \quad (9)$$

$$\Delta P_b = \frac{8.311 \times 10^{-5} \times \rho \times q^2}{Cd^2 \times At^2} \quad (10)$$

$$v(annulus) = \frac{q}{2.448 (d_2^2 - d_1^2)} \quad (11)$$

$$N_{Re}(annulus) = 757 \frac{\rho v (d_2 - d_1)}{\mu_a} \quad (12)$$

$$\mu_a(annulus) = \mu_p + \frac{5 \tau_y (d_2 - d_1)}{v} \quad (13)$$

$$\Delta P_a(turbulen) = \frac{\rho^{0.75} v^{1.75} \mu_p^{0.25}}{1,396 (d_2 - d_1)^{1.25}} \Delta L \quad (14)$$

$$\Delta P_a(laminar) = \frac{\mu_p v}{1,000 (d_2 - d_1)^2} + \frac{\tau_y}{200(d_2 - d_1)} \Delta L \quad (15)$$

Keterangan:

$\Delta P_s$  : kehilangan tekanan pada peralatan di permukaan (*Surface Equipment*) seperti pada *standpipe, Kelly hose*.

$\Delta P_{dp}$  : kehilangan tekanan pada komponen Drill Pipe

$\Delta P_{dc}$  : kehilangan tekanan pada komponen Drill Collar

$\Delta P_b$  : kehilangan tekanan pada bit.

$\Delta P_a$  : kehilangan tekanan pada annulus

$\Delta P_b$  : Kehilangan tekanan pada bit (psi)

$\rho$  : Densitas fluida pengeboran (ppg)

$Q$  : Flow rate (gpm)

$At$  : Total luas area nozzle (inch<sup>2</sup>)

$Cd$  : Koeffisien discharge (0.95)

$v$  : kecepatan fluida

$q$  : laju alir fluida

$d$  : diameter channel

$\Delta L$  : panjang channel

$\mu_p$  : viskositas plastik

- $\mu_a$  : viskositas apparent
- $\tau_y$  : yield point
- $N_{Rec}$  : Bilangan Reynold
- $\Delta P_f$  : Total kehilangan tekanan

Surface equipment dari sistem sirkulasi di rig pengeboran terdiri dari *standpipe*, *rotary hose*, *swivel* dan *kelly pipe*. International Association of Drilling Contractors (IADC) membagi tipe *surface equipment* menjadi empat kategori tersebut berdasarkan kombinasi ukuran *Inner Diameter* (ID) dan panjang dari masing-masing komponen. Untuk menghitung kehilangan tekanan pada *surface equipment*, digunakan persamaan yang sama dengan kehilangan tekanan pada *Drill Pipe* dan *Drill Collar*. Namun perlu dilakukan ekuivalensi untuk mendapatkan nilai diameter channel (*d*) dan panjang channel ( $\Delta L$ ). Ekuivalensi dilakukan dengan mengacu Tabel 3 dan Tabel 4. Engineer bisa mencocokkan *surface equipment* yang digunakan di lapangan dengan data pada tabel 1 untuk menentukan tipe dari *surface equipment*. Selanjutnya untuk masing – masing tipe peralatan di permukaan diekivalensikan dengan panjang Drill Pipe seperti pada Tabel 2. Contohnya, bila *surface equipment* masuk ke dalam tipe kombinasi 1 maka kehilangan tekanan di *surface equipment* bisa diekivalensikan dengan kehilangan tekanan pada Drill Pipe 3.5", 13.3 lb/ft sepanjang 437 ft atau 133 m. Kehilangan tekanan di *surface equipment* bisa dihitung dengan menggunakan rumus perhitungan kehilangan tekanan di dalam Drill Pipe dengan panjang sesuai dengan ekivalensinya.

Tabel 3 Tipe Kombinasi *Surface Equipment* berdasarkan IADC [6]

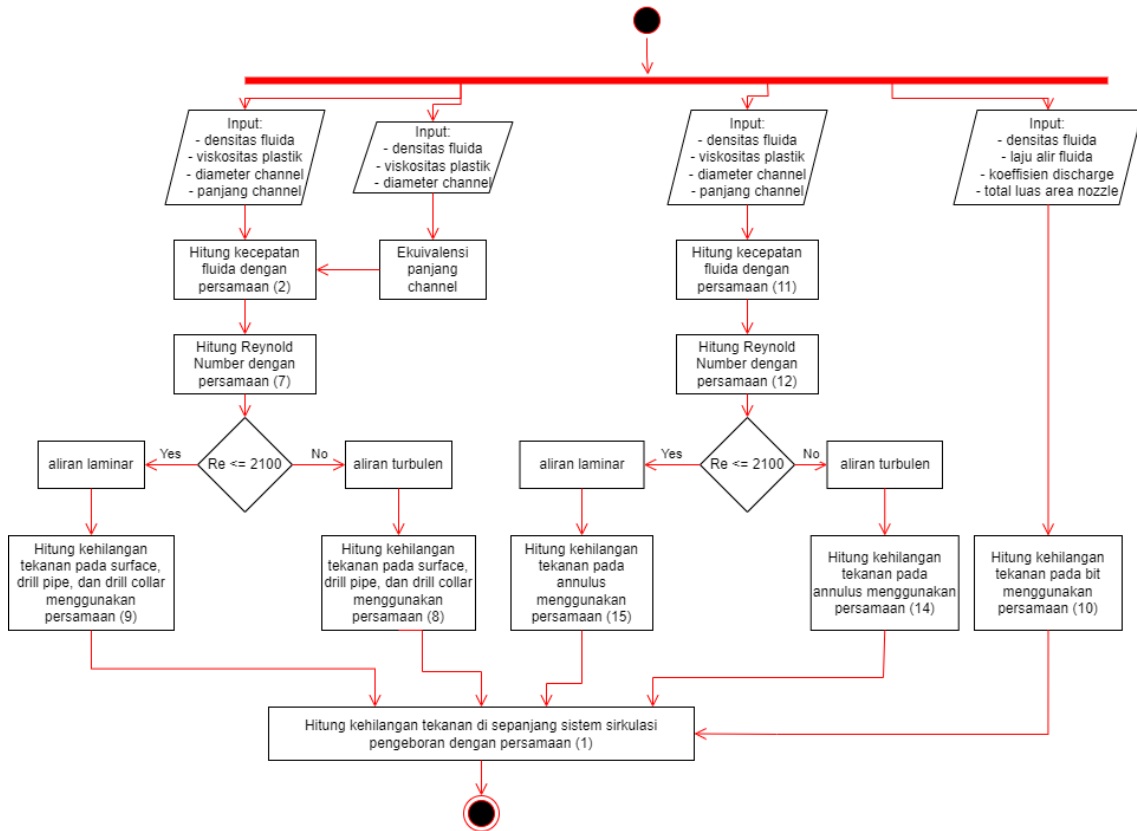
Komponen	Kombinasi 1				Kombinasi 2				Kombinasi 3				Kombinasi 4			
	ID		Panjang		ID		Panjang		ID		Panjang		ID		Panjang	
	in	cm	ft	m	in	cm	ft	m	in	cm	ft	m	in	cm	ft	m
<i>Standpipe</i>	3	7.6	40	12.2	3.5	8.9	40	12.2	4	10.2	45	13.7	4	10.2	45	13.7
<i>Rotary Hose</i>	2	5.1	45	13.7	2.5	6.4	55	16.8	3	7.6	55	16.8	3	7.6	55	16.8
<i>Swivel</i>	2	5.1	4	1.2	2.5	6.4	4	1.5	2.5	7.6	6	1.8	3	7.6	6	1.8
<i>Kelly Pipe</i>	2.5	5.7	40	12.2	3.3	8.3	40	12.2	3.3	10.2	40	12.2	4	10.2	40	12.2

\*ID: internal diameter

Tabel 4 Ekivalensi Panjang untuk Setiap Kombinasi *Surface Equipment* [6]

Equivalent Drill Pipe	Kombinasi 1		Kombinasi 2		Kombinasi 3		Kombinasi 4	
	ft	m	ft	m	ft	m	ft	m
3.5"-OD, 2.764"-ID, 13.3 lb/ft	437	133	161	49				
4.5"-OD, 3.826"-ID 16.6 lb/ft			761	232	479	146	340	104
5"-OD, 4.276"-ID 19.5 lb/ft					816	249	576	176



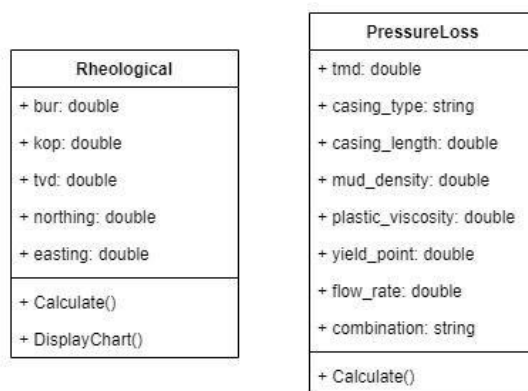


Gambar 4. Diagram Alir Algoritma Perhitungan Kehilangan Tekanan

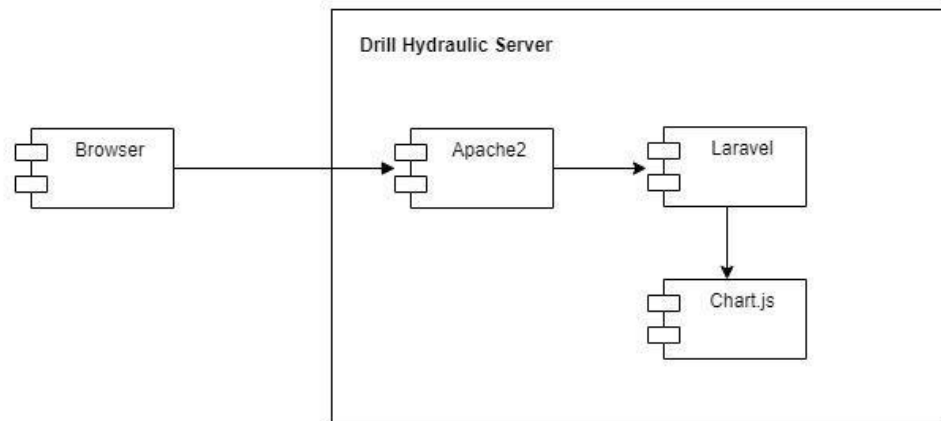
### 3.2 Desain

Kebutuhan yang dispesifikkan pada Tabel 1 diformalkan dalam bentuk diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Diagram alir ini nantinya akan digunakan sebagai dasar untuk melakukan pengembangan. Berdasarkan kebutuhan yang ditentukan, dirancang desain arsitektur yang mencakup desain *class diagram* dan *component diagram* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Seluruh perhitungan dilakukan pada function `Calculate()` kemudian hasil perhitungan ditampilkan dengan memanggil fungsi `DisplayChart()`.

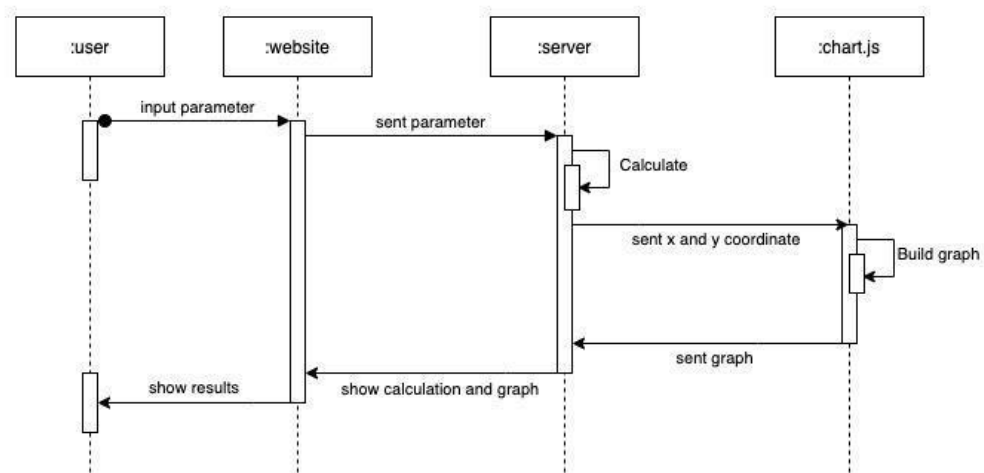
Secara umum, alur perhitungan pada system ditunjukkan dalam *sequence diagram* pada Gambar 7. Input yang diberikan pengguna, dikirimkan ke server kemudian perhitungan dilakukan di sisi server sesuai dengan persamaan yang ditentukan.



Gambar 5. Class Diagram



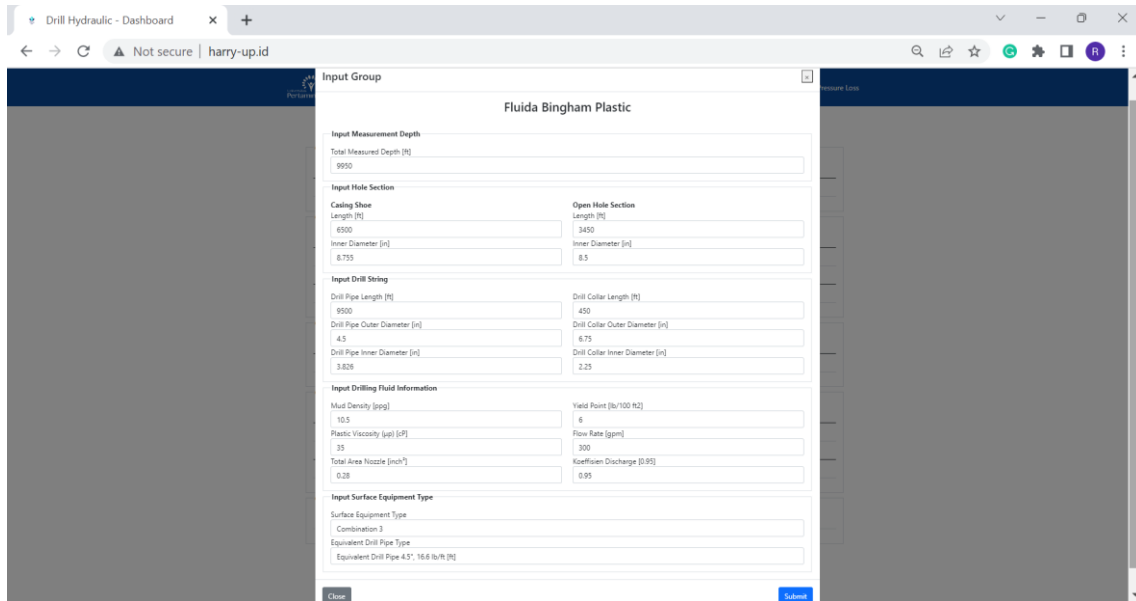
Gambar 6. Component Diagram



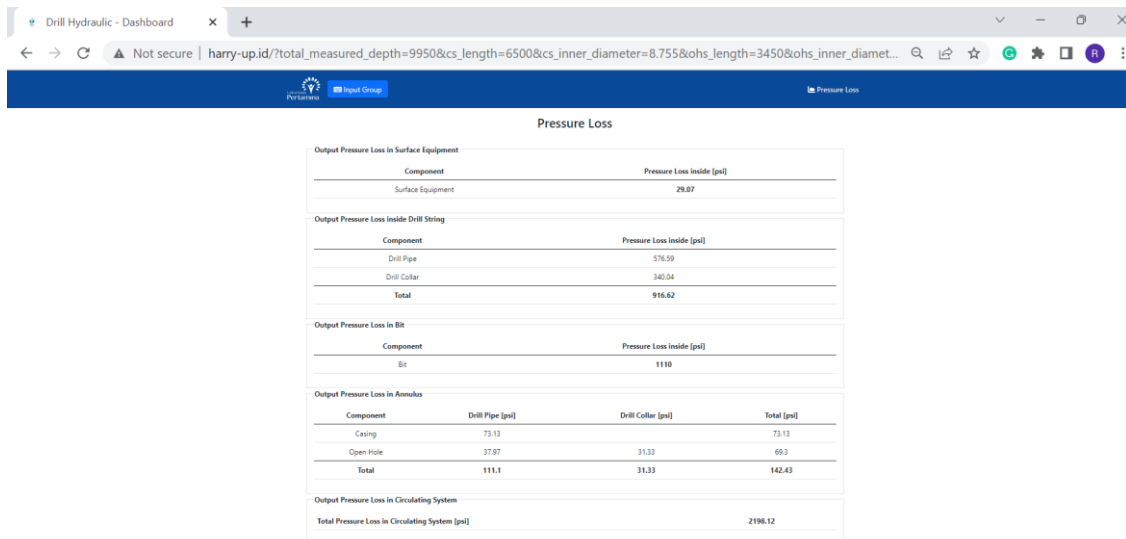
Gambar 7. Sequence Diagram

### 3.3 Pengembangan

Desain perangkat lunak berhasil diimplementasikan sehingga menghasilkan sistem informasi berbasis web yang dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman PHP dan HTML dan Javascript untuk *front-end*. Aplikasi yang dikembangkan memiliki fitur-fitur sesuai dengan kebutuhan yang ada pada daftar kebutuhan di Tabel 2. Beberapa fitur yang diimplementasikan dalam sistem informasi yang dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 8 hingga Gambar 10. Aplikasi berbasis web dapat diakses di alamat [harry-up.id](http://harry-up.id) dan siap digunakan baik untuk akademisi untuk proses pembelajaran maupun oleh praktisi untuk melakukan desain sumur pengeboran.



Gambar 8. Halaman Input Parameter (*Requirement 1* hingga 6)



Gambar 9. Halaman Hasil Perhitungan Desain Hidrolika (*Requirement 8* dan 12)

### 3.4 Pengujian

Pengujian fungsional yang dilakukan secara *black box* dilakukan berdasarkan skenario pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 5. Seluruh skenario pengujian lolos uji.

Tabel 5 Skenario Pengujian Fungsional

Test Skenario	Input	Hasil yang diharapkan	Hasil Pengujian
Menghitung kehilangan tekanan pada peralatan permukaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Surface Equipment Type: Combination 3</li> <li>Equivalent Drill Pipe Type: Equivalent Drill Pipe 4.5", 16.6 lb/ft [ft]</li> <li>Mud Density [ppg]: 10.5</li> <li>Plastic Viscosity (<math>\mu</math>p) [cP]: 35</li> <li>Yield Point [lb/100 ft<sup>2</sup>]: 6</li> <li>Flow Rate [gpm]: 300</li> </ul>	29.07	Lolos
Menghitung kehilangan tekanan pada drill pipe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flow Rate [gpm]: 300</li> </ul>	576.58	Lolos

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mud Density [ppg]: 10.5</li> <li>• Plastic Viscosity (<math>\mu</math>p) [cP]: 35</li> <li>• Yield Point [lb/100 ft<sup>2</sup>]: 6</li> <li>• Drill Pipe Length [ft]: 9500</li> <li>• Drill Pipe Outer Diameter [in]: 4.5</li> <li>• Drill Pipe Inner Diameter [in]: 3.826</li> </ul>		
Menghitung kehilangan tekanan pada drill collar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flow Rate [gpm]: 300</li> <li>• Mud Density [ppg]: 10.5</li> <li>• Plastic Viscosity (<math>\mu</math>p) [cP]: 35</li> <li>• Yield Point [lb/100 ft<sup>2</sup>]: 6</li> <li>• Drill Collar Length [ft]: 450</li> <li>• Drill Collar Outer Diameter [in]: 6.75</li> <li>• Drill Collar Inner Diameter [in]: 2.25</li> </ul>	340.03	Lolos
Menghitung kehilangan tekanan pada drill bit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flow Rate [gpm]: 300</li> <li>• Mud Density [ppg]: 10.5</li> <li>• Total Area Nozzle [inch<sup>2</sup>]: 0.28</li> <li>• Koeffisien Discharge [0.95]: 0.95</li> </ul>	1109.99	Lolos
Menghitung kehilangan tekanan pada annulus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Total Measured Depth [ft]: 9950</li> <li>• Casing Shoe Length [ft]: 6500</li> <li>• Measurement Depth Base [ft]: 6500</li> <li>• Inner Diameter [in]: 8.755</li> <li>• Outer Diameter [in]: 9.625</li> <li>• Open Hole Section Length [ft]: 3450</li> <li>• Measurement Depth Base [ft]: 3450</li> <li>• Inner Diameter [in]: 8.5</li> <li>• Outer Diameter [in]: 8.5</li> <li>• Flow Rate [gpm]: 300</li> <li>• Mud Density [ppg]: 10.5</li> <li>• Plastic Viscosity (<math>\mu</math>p) [cP]: 35</li> <li>• Yield Point [lb/100 ft<sup>2</sup>]: 6</li> <li>• Drill Pipe Length [ft]: 9500</li> <li>• Drill Pipe Outer Diameter [in]: 4.5</li> <li>• Drill Collar Length [ft]: 450</li> <li>• Drill Collar Outer Diameter [in]: 6.75</li> </ul>	142.43	Lolos
Menghitung total kehilangan tekanan di sepanjang sistem sirkulasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Total Measured Depth [ft]: 9950</li> <li>• Casing Shoe Length [ft]: 6500</li> <li>• Measurement Depth Base [ft]: 6500</li> <li>• Inner Diameter [in]: 8.755</li> <li>• Outer Diameter [in]: 9.625</li> <li>• Open Hole Section Length [ft]: 3450</li> <li>• Measurement Depth Base [ft]: 3450</li> <li>• Inner Diameter [in]: 8.5</li> <li>• Outer Diameter [in]: 8.5</li> <li>• Flow Rate [gpm]: 300</li> <li>• Mud Density [ppg]: 10.5</li> <li>• Plastic Viscosity (<math>\mu</math>p) [cP]: 35</li> <li>• Yield Point [lb/100 ft<sup>2</sup>]: 6</li> <li>• Drill Pipe Length [ft]: 9500</li> <li>• Drill Pipe Outer Diameter [in]: 4.5</li> <li>• Drill Pipe Inner Diameter [in]: 3.826</li> <li>• Drill Collar Length [ft]: 450</li> <li>• Drill Collar Outer Diameter [in]: 6.75</li> <li>• Drill Collar Inner Diameter [in]: 2.25</li> <li>• Total Area Nozzle [inch<sup>2</sup>]: 0.28</li> <li>• Koeffisien Discharge [0.95]: 0.95</li> </ul>	2198.12	Lolos

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Aplikasi yang dibuat berhasil melakukan perhitungan kehilangan tekanan di sepanjang sistem sirkulasi pengeboran untuk jenis fluida non-newtonian, khususnya *Bingham Plastic*. Pengujian yang dilakukan secara *black box* terhadap fungsional aplikasi menunjukkan aplikasi mampu melakukan perhitungan dengan benar pada setiap komponen. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi sudah sesuai dengan kebutuhan dan bebas dari kesalahan. Aplikasi berbasis web ini dapat diakses secara bebas di alamat <http://harry-up.id/> berhasil mengatasi keterbatasan aksesibilitas untuk menghitung kehilangan tekanan di sepanjang sistem sirkulasi dan

menentukan kapasitas pompa lumpur pengeboran bagi akademisi dan praktisi di industri minyak, gas, dan panas bumi. Aplikasi web-based tidak memerlukan instalasi pada komputer tertentu dan dapat diakses melalui internet, memberikan fleksibilitas dan aksesibilitas yang lebih baik dalam penggunaannya. Sifat aplikasi yang *open-source* memungkinkan pengguna mengakses aplikasi secara gratis menjadi alternatif solusi terhadap kendala finansial bagi pengguna dan organisasi yang memiliki anggaran terbatas.

Saat ini aplikasi yang ada baru mampu menghitung fluida non-newtonian tipe *Bingham Plastic*. Selain tipe *bingham plastic* pada fluida non-newtonian masih ada tipe lain seperti Power Law dan Herschel Buckley. Disamping itu masih ada fluida Newtonian yang juga digunakan dalam pengeboran. Aplikasi juga saat ini baru mampu menghitung kehilangan tekanan di sepanjang sistem sirkulasi. Sedangkan dibutuhkan juga fitur untuk menghitung Equivalent Circulating Density (ECD) dan juga mendesain optimum *flow rate*. Kedepannya, penambahan fitur rheologi yang mengakomodir perhitungan berbagai tipe fluida dan penambahan perhitungan ECD serta optimum *flow rate* akan semakin mempermudah pekerjaan para praktisi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Pertamina yang telah memberi dukungan pada penelitian ini melalui hibah program UPEResearch 2022 dengan nomor Surat Keputusan 0333B/UP-R/SK/HK.01/X/2022.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Devereux, *Drilling Technology in Nontechnical Language*, Second edi. PennWell Corporation, 2012.
- [2] A. T. Bourgoyne, M. E. Chenevert, and F. S. Y. Jr., *Applied Drilling Engineering: Textbook 2 (Spe Textbook)*. Society of Petroleum Engineers, 2014.
- [3] R. F. Mitchell and S. Z. Miska, *SPE TEXTBOOK SERIES VOL. 12 FUNDAMENTALS OF DRILLING ENGINEERING*. Society of Petroleum Engineers, 2010.
- [4] *Drilling Engineering*. Heriot Watt University, 2005.
- [5] N. J. Adams and T. Charrier, *Drilling Engineering A Complete Well Planning Approach*. Tulsa, Oklahoma, United States: Pennwell Books, 1985.
- [6] B. Guo and G. Liu, *Applied drilling circulation systems : hydraulics, calculations, and models*. Gulf Professional Pub, 2011.
- [7] R. Caenn, H. C. H. Darley, and G. R. Gray, *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*. Elsevier Inc., 2017.
- [8] H. Rabia, *Well Engineering & Construction*. Entrac Consulting Limited, 2002.
- [9] R. S. Pressman and B. Maxim, *Software Engineering: A Practitioner's Approach 8th Edition*. McGraw-Hill Education, 2014.
- [10] I. Sommerville, *Software Engineering Tenth Edition*. Pearson, 2016.
- [11] B. Bruegge and A. H. Dutoit, *Object-Oriented Software Engineering Using UML, Patterns, and Java*, 3rd ed. Pearson, 2010.
- [12] P. B. Kruchten, "The 4+1 View Model of Architecture," *IEEE Softw.*, vol. 12, no. 6, pp. 42–50, 1995, doi: 10.1109/52.469759.
- [13] C. Larman, *Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development*, 3rd ed. Pearson, 2004.
- [14] J. Tian, *Software quality engineering : Testing, quality assurance, and quantifiable improvement*. Wiley, 2005.