

Rancang Bangun Aplikasi Desain Trajektori Sumur Pengeboran Berbasis Web

Raka Sudira Wardana¹; Meredith Susanty^{2}*

1. Program Studi Teknik Peminyakan, Universitas Pertamina, Jl. Teuku Nyak Arief, Simprug, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12220, Indonesia
2. Program Studi Komputes, Universitas Pertamina, Jl. Teuku Nyak Arief, Simprug, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12220, Indonesia

**)Email: meredita.susanty@universitaspertamina.ac.id*

Received: 25 Mei 2023 | Accepted: 14 Agustus 2023 | Published: 7 Juni 2024

ABSTRACT

Drilling operation is a crucial part in the oil, gas, and geothermal energy exploration and production process. In certain circumstances, directional drilling must be conducted. Therefore, it is necessary to design a trajectory from the surface to the target reservoir in the subsurface. The trajectory of the directional well must be designed to attain the drilling objective while optimizing the drilling operation's parameters and avoiding hole problems. The optimal well trajectory is the path that requires the least amount of time and money to drill. To design the trajectory of a wellbore, a lengthy iterative calculation process is required; consequently, software is typically used. Unfortunately, most software used today is still desktop-based. The need for an installation procedure, limited licenses, and the inability to perform certain tasks on certain computers can make the use of desktop-based applications problematic. Currently, working conditions necessitate that work can be performed from anywhere. Therefore, it is necessary to have a web-based application that practitioners and academics can utilize to design trajectory wells using any kind of devices that have internet connection. This research aims to develop web-based software that academics and oil, gas, and geothermal industry professionals can use to design well trajectory.

Keywords: *trajectory, drilling engineering, web-based application*

ABSTRAK

Pengeboran sumur merupakan salah satu bagian dari proses eksplorasi dan produksi energi minyak, gas maupun panas bumi. Dalam beberapa kondisi, pengeboran sumur harus dilakukan secara berarah. Oleh karena itu perlu dibuat desain lintasan trajektori dari rig di permukaan hingga mencapai target reservoir di bawah permukaan. Trajektori sumur berarah harus didesain sehingga target pengeboran bisa tercapai namun tetap mempertimbangkan optimasi parameter operasi pengeboran dan juga terhindarnya permasalahan pengeboran. Trajektori sumur yang optimum merupakan lintasan yang akan menghasilkan biaya dan waktu pengeboran paling minimum. Untuk mendesain trajektori desain sumur pengeboran dibutuhkan proses perhitungan iterasi yang cukup panjang sehingga pada umumnya dilakukan menggunakan software. Namun sayangnya software yang digunakan saat ini umumnya masih berupa desktop based. Seringkali penggunaan aplikasi berbasis desktop menjadi hambatan karena perlunya proses instalasi, keterbatasan license dan juga pekerjaan terbatas dilakukan pada komputer tertentu. Sedangkan kondisi kerja saat ini menuntut pekerjaan bisa dilakukan dari mana saja (Work from Anywhere). Oleh karena itu dibutuhkan adanya aplikasi berbasis web yang bisa digunakan oleh praktisi maupun akademisi untuk bisa mendesain trajektori sumur menggunakan berbagai macam gawai yang memiliki jaringan internet. Tujuan dari penelitian ini yaitu terciptanya software berbasis web yang bisa digunakan untuk mendesain trajektori sumur secara praktis oleh akademisi maupun praktisi industri migas dan panas bumi.

Kata kunci: *Trajektori, Pengeboran, Aplikasi berbasis web*

1. PENDAHULUAN

Pengeboran sumur merupakan salah satu bagian dari proses eksplorasi dan produksi energi minyak, gas bumi maupun panas bumi. Bila memungkinkan pengeboran sumur akan dilakukan secara vertikal untuk menghemat biaya operasi pengeboran. Namun sering kondisi di permukaan maupun di bawah permukaan membuat pengeboran vertikal tidak bisa dilakukan, sehingga pengeboran berarah menjadi solusi. Pengeboran berarah merupakan proses yang dilakukan untuk mengarahkan lubang sumur mengikuti trajektori yang sudah didesain untuk mencapai target [1]. Tujuan dari pengeboran terarah adalah untuk menghubungkan permukaan ke reservoir minyak/gas yang tidak berada tepat di bawahnya [2]. Beberapa kondisi seperti sumur *sidetracking*, pengeboran banyak sumur dengan satu platform, pengeboran *salt dome*, pengeboran darat untuk reservoir yang berada di bawah laut dan sumur *relief* merupakan beberapa kondisi yang mengharuskan pengeboran berarah dilakukan [3].

Proses pengeboran sumur berarah dapat dibagi dalam dua fase yaitu fase perencanaan trajektori sumur dan fase eksekusi/survey trajektori sumur. Perencanaan trajektori sumur didesain berdasarkan posisi awal rig pengeboran dengan target di reservoir. Trajektori sumur berarah harus didesain sehingga target pengeboran bisa tercapai namun tetap mempertimbangkan optimasi dan parameter operasi pengeboran. Desain trajektori sumur yang dipilih merupakan lintasan yang bisa mencapai target dengan akan dengan biaya paling minimum [4]. Selain itu desain trajektori sumur yang tidak tepat dapat menyebabkan permasalahan pada operasi pengeboran. Oleh karena itu desain trajektori yang optimum penting dilakukan untuk menghemat waktu, biaya dan juga menghindari masalah pengeboran.

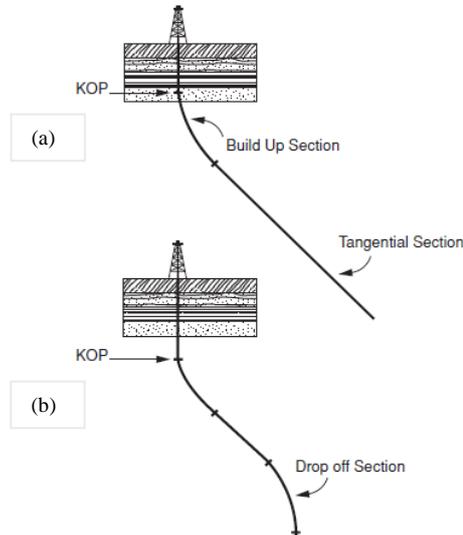
Ada 2 jenis dasar trajektori sumur pengeboran yang biasa digunakan seperti dijelaskan pada Tabel 1 dan diilustrasikan pada Gambar 1. Untuk bisa mendesain trajektori sumur pengeboran perlu dilakukan proses iterasi trial dan error untuk mendapatkan hasil desain yang terbaik. Umumnya desain trajektori sumur pengeboran mengikuti tahapan seperti ditunjukkan pada diagram alir di Gambar 2.

Tabel 1. Tipe Trajektori Sumur

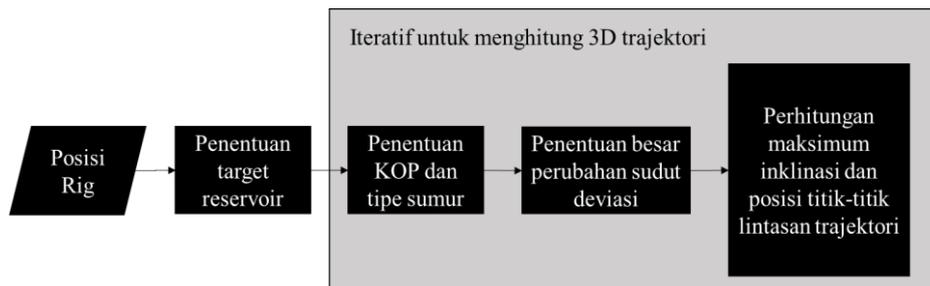
Tipe	Deskripsi
Tipe J (<i>Build and Hold</i>)	Sumur Tipe J dibor secara vertikal dari permukaan ke <i>Kick of Point (KOP)</i> pada kedalaman yang relatif dangkal dan dibelokkan hingga mencapai sudut maksimum dan arah yang diinginkan tercapai [5]. Sudut dan arah yang ditetapkan dipertahankan saat mengebor ke kedalaman target. Pada <i>build and hold</i> lintasan sumur terbagi menjadi 3 bagian yaitu vertikal, <i>build section</i> , dan <i>tangent</i> .
Tipe S (<i>Build, hold and drop</i>)	Lintasan sumur ini mirip dengan lintasan tipe J namun setelah melalui <i>tangent section</i> , inklinasi lintasan sumur diturunkan (<i>drop section</i>) menjadi 0 [5].

Untuk mendesain trajektori desain sumur pengeboran dibutuhkan proses perhitungan iterasi yang cukup panjang. Praktisi industry migas umumnya menggunakan aplikasi berbasis *desktop* untuk melakukan proses desain ini. Aplikasi ini harus diinstal di komputer tertentu sebelum dapat digunakan. Seluruh data juga tersimpan di komputer local dimana aplikasi terinstal. Hal ini menjadi tidak praktis bagi praktisi migas di lapangan terutama dalam mengerjakan desain dalam tim dimana seluruh anggota tim akan berkolaborasi.

Untuk mengatasi keterbatasan yang ada saat ini, penelitian ini bertujuan membangun aplikasi berbasis web yang bisa digunakan untuk mendesain trajektori sumur secara praktis oleh akademisi maupun praktisi industry migas dan panas bumi. Diharapkan dengan adanya aplikasi ini bisa mempermudah para praktisi migas dan panas bumi dalam melakukan operasi pengeboran.



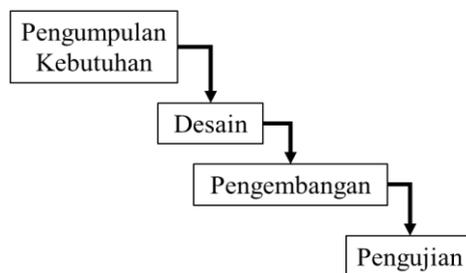
Gambar 1. Tipe Trajektori Sumur (a) Tipe J (Build and Hold) (b) Tipe S (Build, Hold, and Drop) [6]



Gambar 2. Proses Desain Trajektori

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Rancang bangun aplikasi berbasis web ini mengikuti metodologi waterfall [7]. Metodologi pada penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Metodologi Penelitian

2.1. Pengumpulan Kebutuhan

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan kebutuhan. Pengumpulan kebutuhan dilakukan untuk mengetahui fitur – fitur yang akan dibuat pada aplikasi desain trajektori. Penggalan kebutuhan dilakukan dengan melakukan studi literatur, perbandingan dengan aplikasi serupa yang sudah ada

saat ini, dan diskusi dengan praktisi industri migas dan panas bumi. Hasil dari penggalian kebutuhan ini didokumentasikan menjadi spesifikasi kebutuhan yang berisi kebutuhan fungsional dan non-fungsional. Selama proses mendokumentasikan kebutuhan, dilakukan diskusi lanjutan dengan para praktisi untuk mendiskusikan hal-hal yang masih kurang jelas atau kurang detail. Hasil dokumentasi adalah *data flow diagram* dan daftar kebutuhan dalam bentuk tabel. Untuk melakukan verifikasi dan validasi terhadap kebutuhan yang sudah disusun digunakan metode pembuatan *test case*. Jika dalam proses verifikasi dan validasi ditemukan kebutuhan yang tidak lengkap dan kebutuhan-kebutuhan yang tidak konsisten atau bertentangan dengan kebutuhan lain dilakukan diskusi kembali dengan para praktisi serta perbaikan kebutuhan berdasarkan hasil diskusi.

2.2. Desain/Perancangan

Tahapan desain merupakan kegiatan dimana komponen-komponen perangkat lunak dan keterhubungannya mulai diidentifikasi berdasarkan daftar kebutuhan final yang sudah diverifikasi dan validasi. Untuk dapat memahami bagaimana perangkat lunak diorganisasikan dan bagaimana struktur perangkat lunak. Dalam melakukan desain dan dokumentasi desain perangkat lunak akan digunakan sudut pandang logical, proses, dan fisik [8].

Sudut pandang logical menunjukkan abstraksi dalam system sebagai objek atau object class. Sudut pandang proses menunjukkan bagaimana interaksi antar proses pada saat runtime. Sudut pandang fisik menunjukkan bagaimana perangkat keras dan komponen perangkat lunak terdistribusi dalam system. Untuk menjelaskan desain digunakan diagram- diagram UML seperti class diagram untuk menjelaskan sudut pandang logical, sequence diagram untuk menjelaskan sudut pandang proses, dan component diagram untuk menjelaskan sudut pandang fisik [9].

2.3. Pengembangan

Tahap pengembangan atau implementasi merupakan kegiatan merealisasikan desain sebagai suatu program. Untuk pengembangan aplikasi desain trajektori berbasis web ini dibutuhkan berbagai *tools* dan *library* seperti dijabarkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tools Dan Library yang Digunakan

Tools/Library	Deskripsi
HTML	Bahasa yang digunakan untuk membuat halaman web
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	Open Source Web Server

2.4. Pengujian

Dalam penelitian ini dilakukan dua pengujian; *development testing* dan *acceptance testing*. *Development testing* dilakukan untuk memastikan perangkat lunak bebas dari *error* atau kesalahan, pengujian ini meliputi *unit testing*, *component testing*, dan *system testing*. Pengujian ini dilakukan selama proses pengembangan aplikasi menggunakan pendekatan *white-box* dan tidak didokumentasikan. *Acceptance testing* dilakukan untuk menguji fungsionalitas sistem berdasarkan *test case* yang disusun pada tahap verifikasi dan validasi kebutuhan. Pengujian ini dilakukan menggunakan pendekatan *black-box* [10].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengumpulan kebutuhan maka didapatkan beberapa kebutuhan fitur seperti yang dideskripsikan pada Tabel III. Untuk setiap perhitungan yang, persamaan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan (1) hingga (52). Lintasan trajektori sumur *Build and Hold* didesain dengan menggunakan persamaan 1 hingga 22 (diadaptasi dari [11]). Lintasan trajektori *sumur Build, Hold and Drop* didesain dengan menggunakan persamaan 23 hingga 50 (diadaptasi dari [11]).

Tabel 3. Daftar Kebutuhan

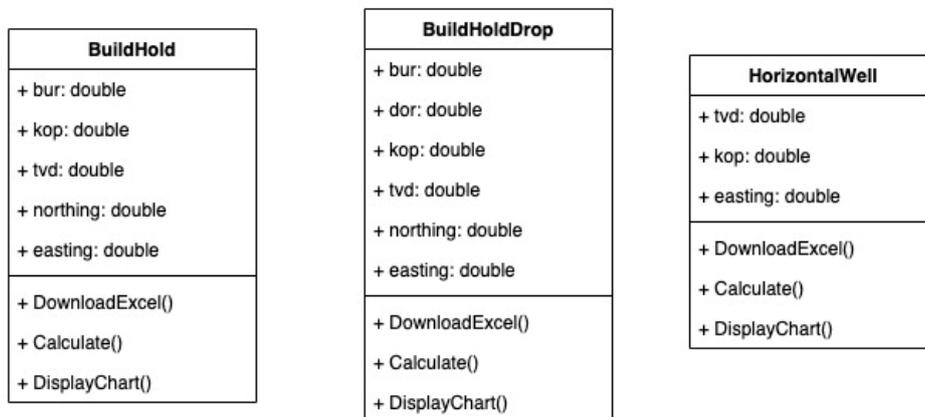
Req.#	Deskripsi
BH-1	Aplikasi menerima input berikut pada fitur Build and Hold:
	1. BUR - Build Up Rate (value range: 0 - 360 derajat, data type: integer)
	2. V1 - Kick Off Point (unit: ft, data type: desimal, range: positif real value)
	3. V3 - Kedalaman Target (unit: ft-TVD, data type: desimal, range: positif real value)
	4. Northing - Posisi Target Terhadap Northing (unit: ft-TVD, data type: desimal, range: positif real value)
BH-1	5. Easting - Posisi Taget Terhadap Easting (unit: ft-TVD, data type: desimal, range: positif real value)
BH-2	Semua parameter input wajib diisi untuk dapat melakukan perhitungan.
BH-3	Aplikasi mampu melakukan perhitungan D2 (Horizontal Displacement) berdasarkan Persamaan: $D2 = \sqrt{Northing^2 + Easting^2}$
BH-4	Aplikasi mampu melakukan perhitungan Radius of Curvature (R) berdasarkan Persamaan (2) $R = \frac{180}{BUR \times \pi} \times 100$
BH-5	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis DC berdasarkan Persamaan (3) $DC = D2 - R$ (untuk $R < D2$) atau (4) $DC = R - D2$ (untuk $R > D2$)
BH-6	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis DO berdasarkan Persamaan (5) $DO = V3 - V1$
BH-7	Aplikasi mampu melakukan perhitungan sudut DOC berdasarkan Persamaan (6) $\angle DOC = \tan^{-1} \left(\frac{DC}{DO} \right)$
BH-8	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis OC berdasarkan Persamaan (7) $OC = \frac{DO}{\cos \angle DOC}$
BH-9	Aplikasi mampu melakukan perhitungan sudut BOC berdasarkan Persamaan (8) $\angle BOC = \cos^{-1} \frac{R}{OC}$

BH-10	Aplikasi mampu melakukan perhitungan sudut BOD berdasarkan Persamaan (10) $\angle BOD = \angle BOC - \angle DOC$ (untuk $R < D2$) atau Persamaan (10) $\angle BOD = \angle BOC + \angle DOC$ (untuk $R > D2$)
BH-11	Aplikasi mampu melakukan perhitungan maksimum inklinasi \emptyset berdasarkan Persamaan (11) $Maksimum \angle \emptyset = 90 - \angle BOD$
BH-12	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis AB (panjang Build Section) berdasarkan persamaan (12) $AB = \frac{\angle \emptyset}{BUR} \times 100$
BH-13	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis ZB (kedalaman terukur Build Section) berdasarkan persamaan (13) $ZB = V1 + AB$
BH-14	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis V2 (kedalaman vertikal Build Section) berdasarkan persamaan (14) $V2 = V1 + R \sin \angle \emptyset$
BH-15	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis D1 (jarak horizontal Build Section) berdasarkan persamaan (15) $D_1 = R (1 - \cos \angle \emptyset)$
BH-16	Aplikasi mampu melakukan perhitungan panjang BC (Tangent Section) berdasarkan persamaan (16) $BC = \sqrt{OC^2 - R^2}$
BH-17	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis ZC (kedalaman terukur Target) berdasarkan persamaan (17) $ZC = V1 + AB + BC$
BH-18	Aplikasi mampu melakukan perhitungan \emptyset_x (inklinasi pada kedalaman terukur X) dengan menggunakan persamaan (18) $\angle \emptyset_x = (X - V1) \times BUR$
BH-19	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis TVD _x (kedalaman vertikal pada kedalaman terukur X) dengan menggunakan persamaan (19) $TVD_x = V1 + R \sin \angle \emptyset_x$
BH-20	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis Dx (jarak horizontal pada kedalaman terukur X) dengan menggunakan persamaan (20) $D_x = R (1 - \cos \angle \emptyset_x)$
BH-21	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis TVD _y (kedalaman vertikal pada kedalaman terukur) Y dengan menggunakan persamaan (21) $TVD_y = V2 + (Y - ZB) \cos \theta$
BH-22	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis Dy (jarak horizontal pada kedalaman terukur Y) dengan menggunakan persamaan (22) $D_y = D1 + (Y - ZB) \sin \theta$
BHD-1	Aplikasi menerima input berikut pada fitur Build Hold and Drop:
	1. BUR - Build Up Rate (value range: 0 - 360 derajat, data type: integer)
	2. DOR - Drop Off Rate (value range: value range: 0 - 360 derajat, data type: integer)
	3. V1 - Kick Off Point (unit: ft, data type: desimal, range: positif real value)
	4. V4 - Kedalaman Target (unit: ft-TVD, data type: desimal, range: positif real value)
	5. Northing - Posisi Target Terhadap Northing (unit: ft-TVD, data type: desimal, range: positif real value)
	6. Easting - Posisi Target Terhadap Easting (unit: ft-TVD, data type: desimal, range: positif real value)
BHD-2	Semua parameter input wajib diisi untuk dapat melakukan perhitungan.
BHD-3	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis D3 (Horizontal Displacement) berdasarkan Persamaan (23) $D3 = \sqrt{Northing^2 + Easting^2}$

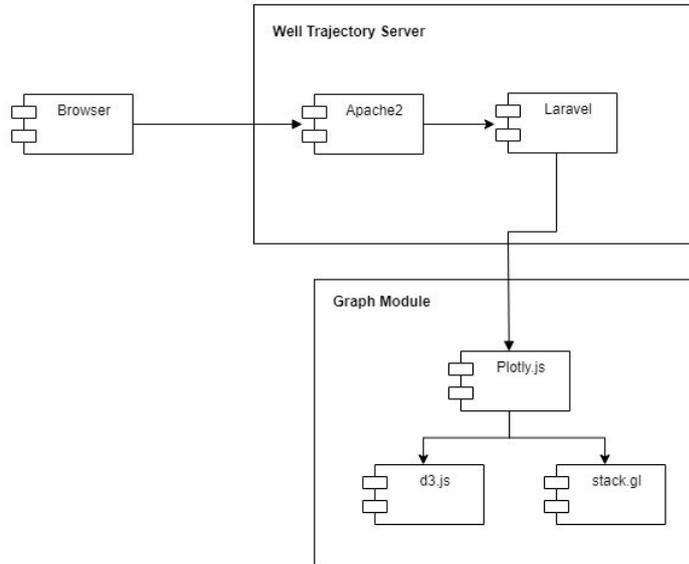
BHD-4	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis R1 & R2 (Radius of Curvature) berdasarkan Persamaan (24) $R1 = \frac{180}{BUR \times \pi} \times 100$ dan (25) $R2 = \frac{180}{DOR \times \pi} \times 100$
BHD-5	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis X berdasarkan Persamaan (26) $X = D3 - (R1 + R2)$
BHD-6	Aplikasi mampu melakukan perhitungan sudut β berdasarkan Persamaan (27) $\angle\beta = \tan\left(\frac{X}{V4-V1}\right)$
BHD-7	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis OF berdasarkan Persamaan (28) $OF = \frac{V4-V1}{\cos\beta}$
BHD-8	Aplikasi mampu melakukan perhitungan sudut FOG berdasarkan Persamaan (29) $\angle FOG = \sin^{-1}\left(\frac{R1+R2}{OF}\right)$
BHD-9	Aplikasi mampu melakukan perhitungan sudut \emptyset (maksimum inklinasi) berdasarkan Persamaan (30) $\angle\emptyset = \angle FOG + \angle\beta$ (untuk $R1 + R2 < D3$) dan (31) $\angle\emptyset = \angle FOG - \angle\beta$ (untuk $R1 + R2 > D3$)
BHD-10	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis AB (panjang End of Build) berdasarkan Persamaan (32) $AB = \frac{\angle\emptyset}{BUR} \times 100$
BHD-11	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis ZB (kedalaman terukur End of Build) berdasarkan Persamaan (33) $ZB = V1 + AB$
BHD-12	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis V2 (kedalaman vertikal End of Build) berdasarkan Persamaan (34) $V2 = V1 + R1 \sin\angle\emptyset$
BHD-13	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis D1 (jarak horizontal End of Build) berdasarkan Persamaan (35) $D1 = R1 (1 - \cos\angle\emptyset)$
BHD-15	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis BC (panjang Tangent Section) berdasarkan Persamaan (36) $BC = OG = \sqrt{OF^2 - (R1 + R2)^2}$
BHD-16	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis ZC (kedalaman terukur Tangent Section) berdasarkan Persamaan (37) $ZC = ZB + BC$
BHD-17	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis V3 (kedalaman vertikal Tangent Section) berdasarkan Persamaan (38) $V3 = V2 + BC \cos\angle\emptyset$
BHD-18	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis D2 (jarak horizontal Tangent Section) berdasarkan Persamaan (39) $D2 = D1 + OG \sin\angle\emptyset$
BHD-19	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis CD (panjang Drop Section) berdasarkan Persamaan (40) $CD = \frac{\angle\emptyset}{DOR} \times 100$
BHD-20	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis ZD (kedalaman horizontal Drop Section) berdasarkan Persamaan (41) $ZD = ZC + CD$
BHD-21	Aplikasi mampu melakukan perhitungan V4 (Kedalaman vertikal Drop Section) berdasarkan Persamaan (42) $V4 = V3 + CD$
BHD-22	Aplikasi mampu melakukan perhitungan \emptyset_x (inklinasi pada kedalaman terukur X) dengan menggunakan persamaan (43) $\angle\emptyset_x = (X - KOP) \times BUR$
BHD-23	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis TVD _x (kedalaman vertikal pada kedalaman terukur X) dengan menggunakan persamaan (44) $TVD_x = KOP + R1 \sin\angle\emptyset_x$

BHD-24	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis Dx (jarak horizontal pada kedalaman terukur X) dengan menggunakan persamaan (45) $D_x = R1 (1 - \cos \theta_x)$
BHD-25	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis TVDx1 (kedalaman vertikal pada kedalaman terukur) Y dengan menggunakan persamaan (46) $TV D_{x1} = V2 + (X1 - ZB) \cos \angle \theta$
BHD-26	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis Dx1 (jarak horizontal pada kedalaman terukur Y) dengan menggunakan persamaan (47) $D_{x1} = D1 + (X1 - ZB) \sin \angle \theta$
BHD-27	Aplikasi mampu melakukan perhitungan θ_{x2} (inklinasi pada kedalaman terukur X2) dengan menggunakan persamaan (48) $\angle \theta_{x2} = \angle \theta - (DOR \times (X2 - V3))$
BHD-28	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis Dx2(jarak horizontal pada kedalaman terukur X) dengan menggunakan persamaan (49) $D_{x2} = D2 + R2 (1 - \cos \angle \theta_{x2})$
BHD-29	Aplikasi mampu melakukan perhitungan garis TVDx2 (kedalaman vertikal pada kedalaman terukur X) dengan menggunakan persamaan (50) $TV D_{x2} = V3 + R2 \sin \angle \theta_{x2}$

Berdasarkan kebutuhan yang ditentukan, dirancang desain arsitektur yang mencakup desain *class diagram* dan *component diagram* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Seluruh perhitungan dilakukan pada function Calculate() kemudian hasil perhitungan ditampilkan dengan memanggil fungsi DisplayChart(). Jika pengguna membutuhkan laporan dalam bentuk excel, akan dipanggil fungsi DownloadExcel().

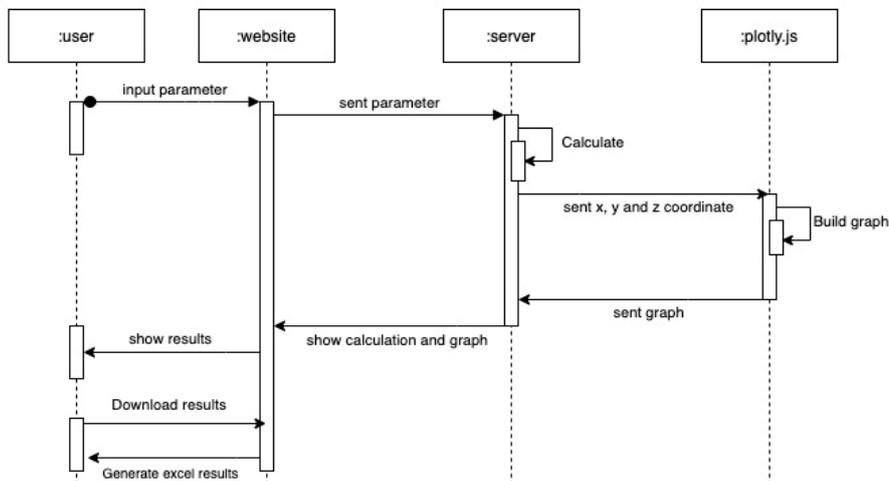


Gambar 4 Desain Class Diagram



Gambar 5. Desain *Component Diagram*

Secara umum, alur perhitungan pada system ditunjukkan dalam *sequence diagram* pada Gambar 6. Input yang diberikan pengguna, dikirimkan ke server kemudian perhitungan dilakukan di sisi server sesuai dengan persamaan yang ditentukan. Hasil perhitungan berupa koordinat x, y, dan z untuk ditampilkan di dalam grafik. Koordinat x, y, dan z ini juga dapat diunduh oleh pengguna melalui halaman web.

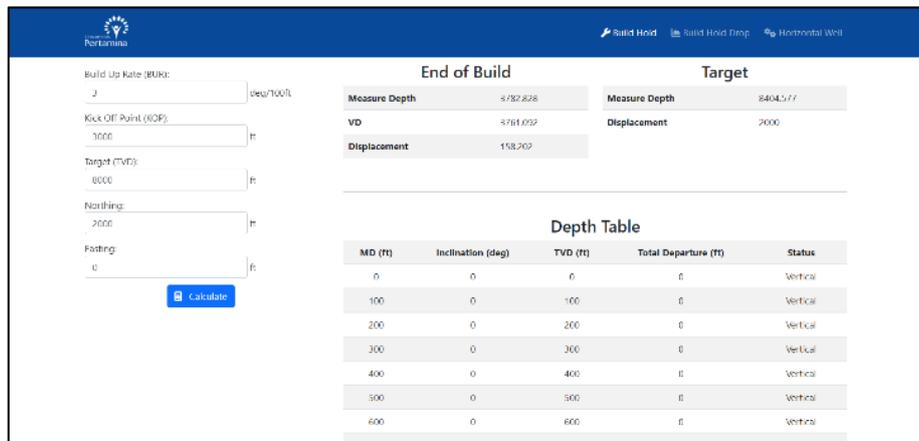


Gambar 6. Desain *Sequence Diagram*

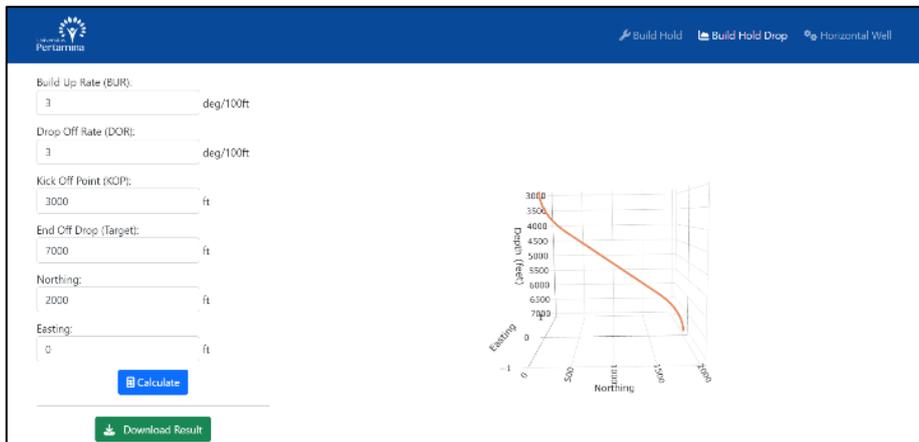
Desain perangkat lunak berhasil diimplementasikan sehingga menghasilkan sistem informasi berbasis web yang dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman PHP dan HTML dan Javascript untuk *front-end*. Aplikasi yang dikembangkan memiliki fitur-fitur sesuai dengan kebutuhan yang ada pada daftar kebutuhan di Tabel II. Beberapa fitur yang diimplementasikan dalam sistem informasi yang dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 7 hingga Gambar 9.



Gambar 7. Halaman Input Parameter dan Grafik *Build Hold* (Requirement BH-16)



Gambar 8. Halaman Input Parameter dan Hasil Perhitungan dari Requirement BH-14



Gambar 9. Halaman Input Parameter dan Grafik *Build Hold Drop* (Requirement BHD-17)

Development testing yang dilakukan menggunakan pendekatan *white box* terhadap 102 skenario pengujian. Setiap *requirement* pada Tabel 3 diuji terhadap dua scenario, positif dan negatif. Pengujian fungsional yang dilakukan secara *black box* dilakukan berdasarkan skenario pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4. Seluruh skenario pengujian lolos uji.

Tabel 4. Scenario Pengujian Fungsional

Test Skenario	Input	Hasil yang diharapkan	Hasil Pengujian
Menghitung lintasan pengeboran	BUR: 3 KOP: 3000 TVD: 8000 Northing: 2000 Easting: 0	Lintasan J per 100 kaki	Lolos
Menghitung lintasan pengeboran	BUR: 3 DOR: 3 KOP: 3000 TVD: 7000 Northing: 2000 Easting: 0	Lintasan S per 100 kaki	Lolos
Menampilkan grafik hasil perhitungan	BUR: 3 KOP: 3000 TVD: 8000 Northing: 2000 Easting: 0	Grafik menampilkan Lintasan J	Lolos
Menampilkan grafik hasil perhitungan	BUR: 3 DOR: 3 KOP: 3000 TVD: 7000 Northing: 2000 Easting: 0	Grafik menampilkan Lintasan S	Lolos

4. KESIMPULAN

Aplikasi yang dibuat dapat mendesain lintasan trajektori sumur pengeboran tipe-J dan tipe-S. Hal ini akan memudahkan praktisi di bidang pengeboran untuk bisa mendesain trajektori sesuai dengan parameter sumur pengeboran yang ada dengan aplikasi berbasis web.

Pengujian yang dilakukan secara *white box* terhadap struktur program juga *black box* terhadap fungsional aplikasi menunjukkan aplikasi sudah sesuai dengan kebutuhan dan bebas dari kesalahan. Aplikasi berbasis web ini dapat diakses secara bebas oleh di alamat tracy-up.id dan sudah dapat digunakan oleh masyarakat luas juga praktisi di bidang pengeboran.

Selain lintasan trajektori sumur pengeboran tipe-J dan tipe-S, masih ada lintasan trajektori yang berbentuk horizontal. Kedepannya, penambahan fitur untuk perhitungan lintasan tipe ini serta ilustrasi dalam bentuk grafik akan semakin memudahkan praktisi dalam mendesain trajektori sumur.

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] A. T. Bourgoyne, M. E. Chenevert and F. S. Y. Jr, *Applied Drilling Engineering: Textbook 2 (Spe Textbook)*, Society of Petroleum Engineers, 2014.

- [2] R. F. Mitchell and S. Z. Miska, SPE TEXTBOOK SERIES VOL. 12 FUNDAMENTALS OF DRILLING ENGINEERING, Society of Petroleum Engineers, 2010.
- [3] N. J. Adams and T. Charrier, Drilling Engineering A Complete Well Planning Approach, Tulsa, Oklahoma: Pennwell Books, 1985.
- [4] S. Devereux, Drilling Technology in Nontechnical Language, Second edition, PennWell Corporation, 2012.
- [5] R. S. Carden and R. D. Grace, Horizontal and Directional Drilling, PETROSKILLS, LLC., 2007.
- [6] Drilling Engineering, Heriot Watt University, 2005.
- [7] I. Sommerville, Software Engineering Tenth Edition, Pearson, 2016.
- [8] P. B. Kruchten, "The 4+1 View Model of Architecture," IEEE Softw., vol. 12, no. doi: 10.1109/52.469759, pp. 42-50, 1995.
- [9] C. Larman, Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development, 3rd ed., Pearson, 2004.
- [10] J. Tian, Software quality engineering : Testing, quality assurance, and quantifiable improvement, Wiley, 2005.
- [11] Anadrill, Directional Drilling Training Manual, Anadarill, 1996.