

کمینه سازی زمان حفاری در چاه های جهت دار و S شکل

محدثه مطیع^۱، رسول خسروانیان^۲، ضحی دلال اصفهانی^۳

دانشکده ی مهندسی نفت ، دانشگاه پلی تکنیک تهران

Mohade3.Motie@gmail.com

چکیده

بهینه سازی چاه های حفاری به دلیل اهمیت اقتصادی که دارد از اهمیت بالایی برخوردار است. انتخاب شدت انحراف و سگ دست مناسب، کمتر شدن زاویه نهایی چاه، کاهش گشتاور و همچنین کاهش خستگی در رشته حفاری از جمله مزایای طراحی بهینه یک چاه جهت دار است. در این چاه ها طول حفاری می تواند به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شود و با کمینه سازی آن انتظار کاهش هزینه را داشت، اما این تابع چندان سودمند نیست. از آنجاکه در این چاه ها بخش های مختلف شامل بخش عمودی و بخش های منحنی وجود دارد که حفر هر یک زمان و هزینه متفاوتی دارند، استفاده از توابع هدف دیگر چون زمان معقول تر به نظر می رسد. در این مقاله ابتدا سعی شده است ویژگی های حفاری جهت دار مورد بحث قرار گیرد و سپس راه های بهینه سازی با قابلیت انتخاب نوع تابع هدف برای کاربر مطرح گردند. با ارائه روشی جهت یافتن تابع هدف زمان ، با اعمال ضرایب زمانی بر هر بخش، مسیر بهینه بازمان کمتر علیرغم افزایش طول حفاری به دست آمده است. استفاده از چاه های مجاور برای انتخاب ضرایب بسیار هائز اهمیت است در این تحقیق مسیر ۳ بعدی چاه های S شکل، از روش سیمپلکس بهینه سازی گردیده است. در محاسبات منحنی ها ، از روش مینیمم انحنای که دقیق ترین روش در محاسبات مسیر هست، استفاده شده است.

کلمات کلیدی: حفاری جهت دار، چاه های S شکل، بهینه سازی مسیر، روش مینیمم انحنای، روش سیمپلکس

^۱ کارشناسی ، دانشکده مهندسی نفت ، دانشگاه امیرکبیر

^۲ استادیار ، هیئت علمی دانشکده مهندسی نفت ، دانشگاه امیرکبیر

۱- مقدمه

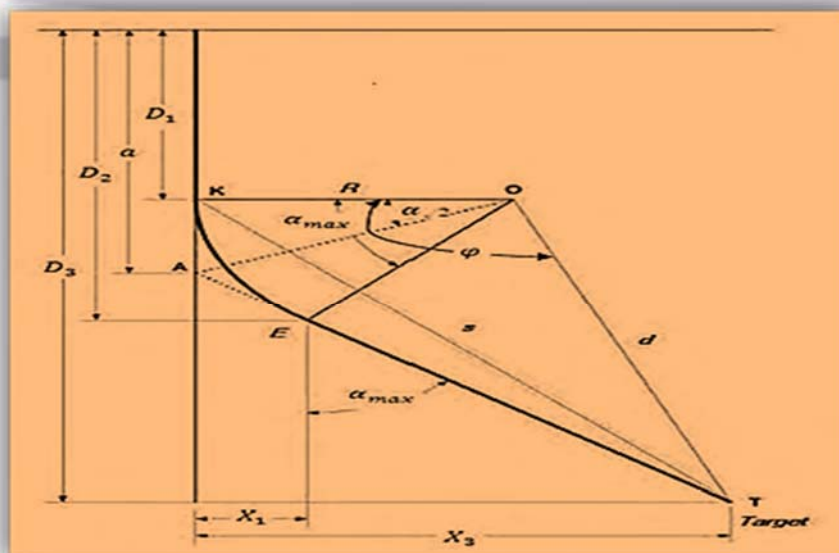
حفاری انحرافی، حفاری تحت کنترل در مسیر معین و تعریف شده از قبل تا رسیدن به هدف می باشد که بیشترین کاربرد آن در اکتشاف و توسعه میادین دریایی می باشد که هزینه بالای حفاری در اینگونه موارد (تقریباً ۱,۴ برابر چاه‌های عمودی) به شدت استفاده از روش‌های بینه سازی را مورد توجه قرار می دهد. [1]

کارشناسان پی بردند که تنها توسعه و پیشرفت تجهیزات جهت رسیدن به اهداف موردنظر که عمدتاً اقتصادی بوده کافی نیست و بهبود پارامترهای مختلف حفاری جهت‌دار می‌تواند نقش بسزایی در افزایش سرعت حفاری و به تبع آن در کاهش هزینه‌ها داشته باشد. [2]

در این مقاله سعی شده است با ارائه روشی مبتنی بر تئوری بهینه‌سازی غیرخطی و روش‌های هیوریستیک، تابع هدف زمان با اعمال ضرایب زمانی بر هر بخش، مسیر بهینه با زمان کمتر علی‌رغم افزایش طول حفاری بدست آرد چرا که به نظر می‌آید تابع هدف مسیر به این علت که در چاه‌های جهت‌دار بخش‌های مختلف شامل بخش عمودی، بخش‌های مستقیم و بخش‌های منحنی با تغییر زاویه و جهت وجود دارند که حفر هر یک زمان و هزینه متفاوتی دارد، ناکارآمد است.

۱-۱ معادلات مسیر چاه در الگوی افزایش - حفظ زاویه

الگوی افزایش - حفظ زاویه از مرسوم‌ترین الگوهای حفاری جهت‌دار است که در شکل ۱ نشان داده شده است. در این الگو سه متغیر با دو درجه آزادی وجود دارد این متغیرها عبارت‌اند از: نقطه شروع انحراف، شدت سگ دست، زاویه نهایی چاه. [3] ارتباط بین این پارامترها توسط روابط زیر به دست می‌آیند (به شکل ۱ توجه شود):



شکل (۱) نمای قائم چاه

$$DLS = \frac{18000}{\pi R} \quad (1)$$

$$\alpha = \arccos \frac{R - X_3}{d} - \arccos \frac{R}{d} \quad (2)$$

$$d = \sqrt{(D_3 - D_1)^2 + (X_3 - R)^2} \quad (3)$$

$$MD_{EOB} = D_1 + \frac{100\theta}{DLS} \quad (4)$$

$$MD = MD_{EOB} + \frac{D_3 - D_2}{\cos\theta} \quad (5)$$

۲- روش سیمپلکس

الگوریتم سیمپلکس که توسط جورج دانترینگ شکل گرفت [9]، مسائل برنامه‌ریزی خطی را به این ترتیب حل می‌کند که یک جواب قابل قبول در یکی از رئوس چند ضلعی فراهم می‌کند و سپس در راستای اضلاع چند ضلعی به طرف رئوس با مقدار بالاتری از تابع هدف حرکت می‌کند تا این که به نقطه بهینه برسد. [8]

۱-۲ یافتن جهت حرکت

در سیمپلکس کنونی فرض کنید:

X_h یک راس با بیشترین مقدار تابع باشد.

X_s یک راس با دومین مقدار بعد از بیشترین مقدار تابع باشد.

X_l یک راس با کمترین مقدار تابع باشد.

X_c مرکز ثقل تمام رئوس به جز راس X_h باشد. یعنی:

$$X_c = \frac{1}{n} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq h}}^{n+1} X_j \quad (6)$$

سپس روش پیشنهادی نلدرمید را برای $\min f(x)$ به صورت زیر توصیه می‌کنیم: راس‌های سیمپلکس اولیه را انتخاب کنید و مقدار $f(x)$ را برای هر کدام از آن راس‌ها مشخص کنید. اکنون چند حالت برای حرکت وجود دارد که در ادامه توضیح داده می‌شود.

۱. **بازتاب:** بازتاب X_h را با استفاده از عامل بازتاب $\alpha > 0$ تعیین کنید یعنی X_o را طوری پیدا کنید که

$$X_o = (1 + \alpha)X_c - \alpha X_h \quad (\alpha > 0) \quad (7)$$

۲. **انبساط:** اگر $y_0 < y_1$ ، سیمپلکس را با استفاده از عامل بسط $\gamma > 1$ بسط دهید یعنی X_{oo} را به صورت زیر پیدا کنید.

$$X_{oo} = \gamma X_o + (1 - \gamma)X_c \quad (\gamma > 1) \quad (8)$$

۳. **انقباض:** اگر $y_0 > y_s$ باشد. سیمپلکس را با استفاده از عامل انقباض β ($0 < \beta < 1$) منقبض کنید. دو حالت

در نظر بگیرید:

الف) اگر $y_0 < y_h$ ، پیدا کنید X_{oo} را چنان که :

$$X_{oo} = \beta X_o + (1 - \beta) X_c \quad (0 < \beta < 1) \quad (9)$$

ب) اگر $y_o \geq y_h$, پیدا کنید X_{oo} را چنان که :

$$X_{oo} = \beta X_h + (1 - \beta) X_c \quad (0 < \beta < 1) \quad (10)$$

۲-۲ معیار توقف

یک معیار همگرایی مناسب برای پایان محاسبه وقتی است که انحراف استاندارد از y_1, \dots, y_{n+1} کمتر از مقدار مقرر $\varepsilon > 0$ در نظر گرفته شده باشد [10] یعنی هنگامی که:

$$S = \sum_{k=1}^{n+1} \left\{ \frac{(y_k - y_{ave})^2}{n} \right\}^{1/2} < \varepsilon \quad (11)$$

که در آن

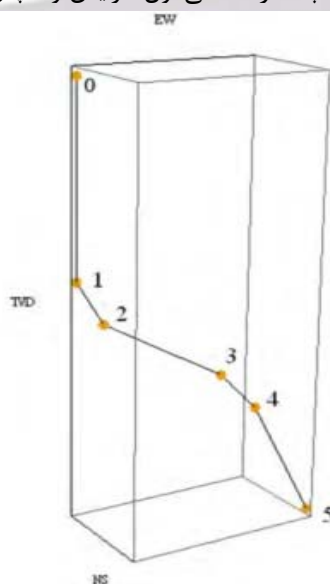
$$y_{ave} = (\sum_{k=1}^{n+1} y_k) / n + 1 \quad (12)$$

۳- مدل بهینه‌سازی

مسئله بهینه‌سازی با تعریف تابع هدف، متغیرهای سیستم و محدودیت‌ها اعم از محدودیت‌های تساوی و غیر تساوی تعریف می‌گردد. متغیرها، پارامترهایی هستند که مسیر چاه را در فضای امکان‌پذیر از محدودیت‌های حاکم مشخص می‌کنند. این متغیرها در تابع هدف و قیود حضور دارند.

۳-۱ مدل جامع مسیر

در ابتدا به منظور تهیه مدل بهینه‌سازی پروفیل پرکاربرد S شکل که شامل تمامی پروفیل‌های دو بعدی و ساده تر می‌باشد استفاده می‌شود. در این پروفیل زاویه چاه در منحنی اول افزایش و سپس در منحنی دوم کاهش داده می‌شود.



شکل (۲) مدل جامع مسیر

۳-۲ متغیرهای طراحی

متغیرها، پارامترهایی هستند که مسیر چاه را در فضای امکان‌پذیر از محدودیت‌های حاکم مشخص می‌کنند. این متغیرها در تابع هدف و قیود حضور دارند.

شماره	متغیر	توضیح
۱	L_{KOP}	طول نقطه آغاز انحراف (m)
۲	θ_2	زاویه در نقطه شماره ۲ در پایان منحنی اول (درجه)
۳	φ_2	جهت در نقطه شماره ۴ در پایان منحنی‌ای اول (درجه)
۴	DLS_2	شدت سگ دست در بخش شماره ۲، منحنی اول (درجه در ۳۰,۴۸ متر)
۵	L_3	طول بخش شماره ۳ (متر)
۶	θ_4	زاویه در نقطه شماره ۴ در پایان منحنی دوم (درجه)
۷	φ_4	جهت در نقطه شماره ۴، در پایان منحنی دوم (درجه)
۸	DLS_4	شدت سگ دست در بخش شماره ۴، منحنی دوم (درجه در ۳۰,۴۴۸ متر)
۹	L_5	طول بخش شماره ۵ (متر)

جدول (۱) متغیرهای طراحی مسیر برای مدل بهینه‌سازی

مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
۷ خرداد ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا ۸۸۶۷۱۶۷۶ - ۰۲۱
www.Reservoir.ir

۳-۳ محدودیت‌های سیستم

جدول (۲) محدودیت‌های سیستم

۳-۴ تابع هدف^۱

تابع هدف در بهینه‌سازی معیاری از کارآمدی سیستم و میزان قابل قبول بودن آن است. بر خلاف روش‌های پیشین که تابع هدف طول حفاری در نظر گرفته می‌شد می‌توان از ضرایب سختی کار برای هر بخش استفاده کرد و با



¹ Objective Function

$L_{KOPMin} \leq L_{KOP} \leq L_{KOPMax}$	محدودیت مربوط به حد بالا و پایین دست عمق نقطه آغاز انحراف هست	(13)
$L_3 \geq 0, \quad L_5 \geq 0$	محدودیت نا منفی بخش‌های مستقیم را تضمین می‌کنند	(14)
$\theta_{2Min} \leq \theta_2 \leq \theta_{2Max}$ $\theta_{4Min} \leq \theta_4 \leq \theta_{4Max}$	محدودیت‌ها در حد بالا و پایین دست مقادیر زاویه و جهت چاه را نشان می‌دهند که برای دور زدن موانع و رسیدن به نقطه هدف انتخاب می‌شوند.	(15)
$\varphi_{2Min} \leq \varphi_2 \leq \varphi_{2Max}$ $\varphi_{4Min} \leq \varphi_4 \leq \varphi_{4Max}$	محدودیت‌ها در حد بالا و پایین دست مقادیر زاویه و جهت چاه را نشان می‌دهند که برای دور زدن موانع و رسیدن به نقطه هدف انتخاب می‌شوند.	(16)
$DLS_{2Min} \leq DLS_2 \leq DLS_{2Max}$ $DLS_{4Min} \leq DLS_4 \leq DLS_{4Max}$	نشان‌دهنده حدود بالا و پائین شدت سگ دست می‌باشند که با توجه به محدودیت ابزارهای انحراف دهنده تعیین می‌گردند	(17)
$TVD_T = C_1, \quad EW_T = C_2, \quad NS_T = C_3$	مختصات نقطه هدف بر حسب متغیرهای طراحی	(18)
$TVD_{2Min} \leq TVD_2 \leq TVD_{2Max}$ $TVD_{3Min} \leq TVD_3 \leq TVD_{3Max}$ $TVD_{4Min} \leq TVD_4 \leq TVD_{4Max}$	سه محدودیت دیگر بر عمق حقیقی نقاط ۲، ۳ و ۴ تعریف می‌شود که حدود بالا و پایین دست این محدودیت‌ها با توجه به شرایط زمین‌شناسی در نظر گرفته می‌شوند	(19)

ضرب شدن در طول هر بخش به ترتیب تابع هدف از جنس زمان و هزینه ایجاد کنند. هزینه رابطه نزدیکی با زمان دارد، زیرا دکل و اکثر تجهیزات کرایه‌ای بوده و با کاهش مدت زمان حفاری هزینه اجاره و همچنین نیروی انسانی به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد. رابطه زیر تابع هدف جامع را نشان می‌دهد.

$$F = \lambda_1 L_1 + \lambda_2 L_2 + \lambda_3 L_3 + \lambda_4 L_4 + \lambda_5 L_5 \quad (20)$$

۳-۴-۱ تعیین ضرایب متغیر

استفاده از ضرایب متغیر نتایج دقیق‌تر و قابل‌اعتمادتری را خواهد داد چرا که برای مثال افزایش زاویه و یا شدت سگ دست موجب کاهش سرعت حفاری نیز می‌گردد. برای تعیین ضرایب زمانی متغیر بخش‌ها به سه گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول بخش عمودی هست، به‌عنوان ثابت و با میانگین‌گیری از چند چاه $\lambda_1 = 0.125$ انتخاب می‌گردد. گروه دوم

بخش‌های مستقیم.. با استفاده از اطلاعات سر چاهی و میانگین نرخ نفوذ مته، ضرایب λ برحسب θ به دست آمده و منحنی مناسب استخراج می‌گردد. دقت کنید که جهت یافتن این ضرایب تنها زاویه چاه که جزء پارامترهای طراحی است، متغیر در نظر گرفته شده است.

θ (deg)	18	25	33/1	45	۵۷,۳	70
Rate(m/h)	5/88	5	۴,۸۸	۴,۵۴	4	۳,۵۷
$\theta\lambda$ (hr/m)	.17	0/2	۰/۲۰۵	0/22	0/25	0/28

جدول (۴) داده‌های میدانی برای بخش‌های مستقیم

با توجه به داده‌های فوق تابع خطی $\theta\lambda = a * \theta + b$ از بین داده‌ها عبور داده شده و ضرایب λ^3 و λ^5 بر طبق آن حاصل می‌شوند.

$$\lambda_{\theta} = 0.00193765 \times \theta + 0.140615 \quad (21)$$

برای بخش‌های دوم و چهارم نیز ضرایب λ برحسب شدت سگ دست‌های متفاوت رسم می‌شوند و برحسب آن ضرایب λ^2 و λ^4 استخراج می‌شوند.

DLS(deg)	۳	۳,۵	۵	۷	۸,۲	۱۰
Rate(m/hr)	۰/۹۷	۰/۸	۰/۷۱	۰/۶	۰/۵۲	۰/۵
$\theta\lambda$ (hr/m)	۱,۰۳	۱,۲۵	۱,۴۱	۱,۶۶	۱,۹۲	۲

جدول (۵) داده‌های میدانی برای بخش‌های منحنی

$$\lambda_{DLS} = 0.13622 \times DLS + 0.711787 \quad (22)$$

حدود مربوط به عمق نقطه آغاز انحراف	$L_{KOPmin} = 1000(m) , L_{KOPmax} = 1200(m)$
حدود مربوط به زاویه در انتهای دو منحنی	$\theta_{2min} = 36(deg) , \theta_{2max} = 73(deg) , \theta_{4min} = 25(deg) , \theta_{4max} = 35(deg)$
حدود مربوط به آزیموت در انتهای دو منحنی	$A_{2min} = 50(deg) , A_{2max} = 70(deg) , A_{4min} = 30(deg) , A_{4max} = 40(deg)$
حدود مربوط به شدت سگ دست در دو منحنی	$DLS_{4min} = 4 \left(\frac{deg}{100ft} \right) , DLS_{4max} = 10 \left(\frac{deg}{100ft} \right)$ $DLS_{2min} = 0/1 \left(\frac{deg}{100ft} \right) , DLS_{2max} = 3 \left(\frac{deg}{100ft} \right)$
مختصات نقطه هدف	$TVD_T = 2540(m) . EW_T = 1200(m) , NS_T 1100(m)$
حدود مربوط به عمق عمودی حقیقی نقاط ۲، ۳ و ۴	$TVD_{2min} = 1300(m) , TVD_{2max} = 1500(m)$ $TVD_{3min} = 1850(m) , TVD_{3max} = 2100(m)$ $TVD_{4min} = 2150(m) , TVD_{4max} = 2300(m)$

جدول (۶) ورودی های بهینه سازی

۴- نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از بهینه‌سازی به روش سیمپلکس زمان حفاری در صورت اعمال ضرایب متغیر زمان، برابر ۱۲۶۹،۲۶ به دست خواهد آمد. با انتخاب تابع هدف کمینه زمان، علیرغم افزایش طول حفاری شده، کاهش زمان حفاری وجود خواهد داشت. به عبارت دیگر مسیر درعین حال طولانی‌تر بودن، سریع‌تر حفاری می‌گردد. در صورت استفاده از ضرایب متغیر کاهش ۴۰،۳ ساعت از زمان در قبال افزایش ۱۲۱،۲۸ متری طول حفاری را شاهد هستید.

توجه شود که طراحی‌های به دست آمده با ارضای تمامی محدودیت‌ها اعم از محدودیت‌های تساوی و غیرمساوی در بین محدودیت‌های طراحی دیگر دارای کمینه طول و یا زمان می‌باشند. کاهش طول حفاری از این جهت مهم است که می‌تواند موجب کاهش طول لوله جداری به کاررفته و بخش‌های سیمان کاری شده، حجم گل به کاررفته و... شود. همچنین تمایل به سمت شدت سگ دست‌های بالاتر و نقطه انحراف عمیق‌تر را در تابع هدف کمینه زمان در مقایسه با طراحی با تابع هدف کمینه طول شاهد هستید.

جهت تعیین ضرایب زمانی از میانگین نرخ نفوذ مته در چاه‌های حفاری شده که در محدوده قبود تعریف شده باشند می‌توان استفاده نمود. در این حالت با استفاده از اطلاعات چاه‌های قبلی و با میانگین‌گیری از معکوس سرعت حفاری برای هر بخش ضرایب سختی را می‌توان به دست آورد.

در این تحقیق جهت ساده‌سازی، بسیاری از پارامترها ثابت در نظر گرفته شده‌اند. افزودن متغیرهای وزن روی مته، قطر و نوع لوله‌های وزنی و حفاری، وزن سیال حفاری و محدودیت‌های جدید به مدل می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. با اضافه کردن پارامترهای جدید ضرایب زمانی می‌بایست به صورت تابعی از مجموعه متغیرهای جدید بیان شوند که منجر به ضرایب و نتایج دقیق و قابل اعتمادتر می‌گردد و به همان صورت هم موجب پیچیده‌تر شدن مسئله بهینه‌سازی خواهد شد. در واقع ضرایب سختی می‌توانند تابعی مرکب از عوامل مختلف باشند. روش سیمپلکس برای تابع مقید نیز به خوبی می‌تواند به کار رود. خصوصاً از لحاظ سرعت اجرای برنامه بسیار سریع‌تر از روش‌هایی چون الگوریتم ژنتیک هست؛ اما خوب چون الگوریتم ژنتیک و یا الگوریتم‌های متاهوریستیک در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی بهتر عمل می‌کنند. _اگرچه جواب قطعی به ما نمی‌دهند_ به همین دلیل برای بهینه‌سازی مسئله‌ی حل مسیر حفاری چاه انحرافی، باید پارامترهای بیشتری را متغیر گرفت و از الگوریتم‌هایی مثل ژنتیک، تبرید تدریجی، مورچگان، زنبور عسل طبیعی و... استفاده نمود.

چون در این تحقیق اطلاعاتی در مورد یک چاه واقعی وجود نداشت و مجبور بودیم یک چاه را شبیه‌سازی کنیم امکان مقایسه مسیر بهینه‌شده با مسیر واقعی وجود نداشت.



فهرست علائم

متغیر	توضیح
L_{KOP}	طول نقطه آغاز انحراف (m)
θ_2	زاویه در نقطه شماره ۲ در پایان منحنی اول (درجه)
φ_2	جهت در نقطه شماره ۴ در پایان منحنی اول (درجه)
DLS_2	شدت سگ دست در بخش شماره ۲، منحنی اول (درجه در ۳۰,۴۸ متر)
L_3	طول بخش شماره ۳ (متر)
θ_4	زاویه در نقطه شماره ۴ در پایان منحنی دوم (درجه)
φ_4	جهت در نقطه شماره ۴، در پایان منحنی دوم (درجه)
DLS_4	شدت سگ دست در بخش شماره ۴، منحنی دوم (درجه در ۳۰,۴۴۸ متر)
L_5	طول بخش شماره ۵ (متر)

فهرست منابع

- [1] James, L. Lummj. (1970). "Drilling Optimization" *Journal of Petroleum Technology*, Vol. 22, No. 11, 1970, pp 1379-1388
- [2] Samuel, G. Robello, Stefan, Miska. (1998). "Optimization of Drilling Parameters with the Performance of Multilobe Positive Displacement Motor." *LADC/SPE Asia Pacific Drilling Conference*, Jakarta, Indonesia
- [3] Shokir, E.M., Emera, M., Eid, S.M., Waly, A.A. (2002). "Optimal 3-D Directional & Horizontal Wells Planning Using Genetic Algorithm" *Annual International SPE Conference and Exhibition*. Abuja, Nigeria.
- [4] Bernt, S. Aadnoy. (2008). "Theory and Application of New Generalized Model for Torque and Drag" *IADC/SPE Asian Pacific Drilling Conference and Exhibition*, Jakarta, Indonesia.
- [5] Bill Mitchell, (1995). "Advanced Oilwell Drilling Engineering", 10th. Ed, Library of Congress, USA.
- [6] Paslay, P.R., Cernocky, E.P. (1991). "Bending Stress Magnification in Constant Curvature Doglegs with Impact on Drillstring and Casing" *The 66th SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Dallas, Texas, USA.
- [7] Keith, J. Nisbett, Richard, G. Budynas. (2006). "Shigley's Mechanical Engineering Design", 8th. Ed, McGraw Hill, USA.
- [8] Spenly, W., Hext, G.R., and Hisworth, F.R., "Sequential application of simplex designs in optimization and evolutionary operations," *Tecnometrics*, Vol. 4:44, 1962
- [9] Nelder, J.A., Mead, R., "A simplex method for function minimization", *The Computer Journal*, Vol. 7:308, 1965.
- [10] Walters, F.H., Parker, L.R., Morgan, S.L., and Deming, S.N., "Sequential Simplex Optimization" *CRC Press LLC*, 1999.
- [11] *Technical Data Handbook*, Wetherford Company, 2002