

## OPTIMALISASI OPERASI PENGEBORAN EKSPLORASI NIKEL PADA KETIDAKPASTIAN TEKNIS DAN EKONOMI MENGUNAKAN METODE SISTEM DINAMIK

Kurniawanti<sup>1</sup>, Yaning Tri Hapsari<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Industri Universitas PGRI Yogyakarta  
wanti.kurnia@upy.ac.id, yaning.yth@upy.ac.id

### Abstrak

*Pengeboran eksplorasi merupakan salah satu operasi paling signifikan pada aktivitas tambang terbuka atau tambang permukaan. Operasi pengeboran berperan penting dalam proses awal kegiatan pertambangan. Dalam operasinya, proses pengeboran menggunakan biaya yang tinggi, sehingga prosesnya harus berjalan optimal baik dari segi teknis dan ekonomi. Pada penelitian ini menggunakan model sistem dinamik untuk operasi pengeboran eksplorasi nikel sebagai suatu sistem yang interaktif yang mempertimbangkan parameter teknis dan ekonomi. Ketidakpastian teknis dan ekonomi seperti kekuatan tekan uniaksial, bit diameter, usia bit, biaya bit, dan biaya-biaya operasi menjadi pertimbangan dalam penelitian ini untuk mengevaluasi hasil optimasi. Metode yang digunakan untuk proses evaluasi adalah model sistem dinamik, dimana model ini diyakini merupakan model yang kuat untuk memodelkan dan mengoptimalkan sistem dalam keadaan tidak pasti. Tujuan penelitian ini mencari nilai optimal yang terintegrasi dengan parameter-parameter teknis dan ekonomi secara efisien. Tentunya nilai optimal tersebut bergantung pada desain dari setiap parameter. Dari hasil analisis, diperoleh nilai optimal pada diameter bit 5,75 inci, UCS dan pulldown force (W) masing-masing 140 mpa dan 4375 lbs/inchi. Faktor-faktor tersebut dapat meningkatkan produktivitas kerja dan meminimalkan biaya operasional proses pengeboran.*

**Kata kunci:** pengeboran, ketidakpastian, sistem dinamik

### I. PENDAHULUAN

Kegiatan penambangan sebagian besar terdiri dari beberapa operasi utama, antara lain: pengeboran, pemuatan dan pengangkutan. Kegiatan penambangan harus melalui proses perencanaan dan desain yang tepat, semua operasi ini harus direncanakan dengan hati-hati dan sedemikian rupa sehingga dapat mencegah timbulnya beban tambahan seperti biaya operasi, permasalahan lingkungan, kecelakaan kerja, dan lain sebagainya. Dari beberapa kegiatan operasi tersebut, proses pengeboran merupakan aktivitas yang paling dahulu dilakukan, sehingga kegiatan ini harus didesain dengan tepat yang pada nantinya akan dilanjutkan ke operasi tahap selanjutnya, yaitu pemuatan dan pengangkutan (Abbaspour, et al., 2018). Proses pengeboran merupakan proses membuat lubang pada permukaan tanah atau batuan untuk melihat koleksi sampel untuk memperkirakan kualitas dan kuantitas dari cadangan suatu mineral tertentu. Pengeboran jenis ini biasa disebut sebagai pengeboran eksplorasi (Pathak, 2014).

Proses pengeboran eksplorasi pada industri pertambangan terdiri dari beberapa metode salah satunya adalah *diamond core drilling*. Pengeboran dengan metode ini berbeda dari metode pengeboran lain yang digunakan dalam eksplorasi mineral lainnya yang digunakan pada batuan padat, pada umumnya berdiameter 27 hingga 85 mm bahkan dapat mencapai 200 mm. Mata bor *diamond* terdiri dari batang baja pendek dengan kepala pemotong menggunakan berlian alami (*surface set*) atau buatan manusia (*impregnated*) sebagai media pemotongan. Dalam formasi sedimen atau batuan yang lebih lunak (misalnya investigasi geoteknis atau eksplorasi batubara), elemen *cutting* lainnya dapat digunakan, seperti tungsten-karbid dan *polycrystalline diamond compacts* (PCD). Bit yang menggunakan berlian buatan manusia lebih disukai untuk digunakan pada jenis batuan keras (*hard-rock*) karena dapat digunakan untuk pengeboran dengan berbagai formasi batuan. Proses pengeboran juga menggunakan air sebagai cairan sirkulasi yang biasa digunakan untuk menghilangkan *cutting* dan mendinginkan mata bor. Saat mata bor bergerak maju, inti silinder dari batu secara progresif mengisi tabung inti pada tabung ganda tepat di atas

mata bor. Sampel inti (*core sample*) didapatkan dengan menurunkan kabel dengan melewati tali bor, dikaitkan ke bagian atas tabung bagian dalam (*inner barrel*) dari barel inti, kemudian ditarik hingga ke permukaan. Laras bagian dalam dilengkapi dengan mekanisme pengangkat *core sample* untuk mencegah *core sample* putus selama proses penarikan. Sementara bagian *core sample* dikeluarkan dari tabung bagian dalam (*inner barrel*) dan ditempatkan di *core tray* (wadah *core sample*), sementara itu tabung bagian pengganti diturunkan ke dalam lubang bor sehingga pengeboran dapat dimulai kembali. Hal ini disebut sebagai sistem *wireline* (Practice, n.d.).

Metode *diamond core drilling* juga banyak digunakan dalam proses pengeboran karena memiliki tingkat penetrasi yang tinggi sehingga dengan tingkat penetrasi yang tinggi dapat mengurangi keausan bit yang berdampak pada faktor biaya penggunaan bit (Singh, et al., 2009). Beberapa penelitian memperkirakan tingkat penetrasi pengeboran menggunakan metode *diamond core drilling* sebagai salah satu parameter penting dalam perencanaan proyek dan estimasi biaya operasi (Basarir, et al., 2014).

Pengeboran adalah operasi dasar dalam siklus penambangan dan merupakan komponen penting dari keseluruhan biaya yang ditimbulkan dari proses penambangan. Biaya operasi pengeboran sangat berkontribusi terhadap tren biaya tinggi dari keseluruhan operasi penambangan (Afum & Temeng, 2015). Pengeboran adalah salah satu operasi yang krusial dan penting dari setiap aktivitas tambang *hard-rock* yang berkontribusi sekitar 15% dari keseluruhan biaya di beberapa operasi penambangan (Gokhale, 2011). Masalah yang terkait dengan praktik pengeboran yang tidak tepat dapat menimbulkan kerugian besar. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi biaya yang ditimbulkan di setiap bagian pengambilan sampel batuan, faktor-faktor tersebut dapat disebabkan karena faktor teknis, biaya pengeboran, tenaga kerja, kekerasan batuan, jenis batuan yang besar (*oversize*), dan sifat formasi geologi (Afum & Temeng, 2015).

Beberapa penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa operasi pengeboran dalam upaya pengurangan biaya yaitu dengan menggunakan peralatan pengeboran yang berbeda (Afum & Temeng, 2015). Upaya lain yang dapat digunakan adalah dengan mempertimbangkan faktor teknis, yaitu dengan menghitung nilai optimal dalam proses pengeboran menggunakan parameter laju penetrasi, kecepatan putar, putaran torsi, dan gaya tarik turun (Mohammad, et al., 2016). Penelitian lain yang juga menguji hubungan antara tingkat penetrasi dengan faktor-faktor umum seperti sifat formasi, reologi lumpur, bobot bit, kecepatan putaran bit, tipe bit, kecenderungan lubang sumur, dan hidrolika bit (Moraveji & Naderi, 2016). Mereka berpendapat bahwa tingkat penetrasi sangat penting untuk mengoptimalkan proses pengeboran karena berdampak dalam meminimalkan biaya yang ditimbulkan. Dari hasil penelitian tersebut faktor kedalaman lubang bor, bobot bit, kecepatan putaran bit, dan gaya tumbukan bit mempengaruhi variasi tingkat penetrasi. Selain itu, mempelajari parameter desain pengeboran seperti diameter lubang, kedalaman lubang bor, jarak lubang dan kekerasan batuan juga menjadi pertimbangan dalam mengoptimalkan proses pengeboran yang nantinya akan mempengaruhi total biaya (Bilim, et al, 2017).

Pengoptimalan biaya proses pengeboran pada bentuk lain seperti hidrokarbon yaitu dengan menghemat waktu proses (Bahari & Seyed, 2009). Penghematan waktu pengeboran dapat diminimalkan dengan meningkatkan tingkat penetrasi di setiap interval kedalaman. Selain itu, peningkatan biaya pengeboran juga disebabkan karena pipa macet, kegagalan pada mata bor, dan *fushing* (Lashari, et al., 2019). Lamanya proses pengeboran ini juga tergantung pada kedalaman lubang bor, formasi batuan, dan faktor parameter pengeboran (Kipsang, 2015).

Berdasarkan penjelasan pendahuluan di atas, artikel ini membahas sebuah model optimasi dengan pendekatan sistem dinamik pada proses pengeboran eksplorasi berdasarkan faktor teknis dan faktor ekonomi sebagai parameternya. Faktor-faktor teknis tersebut dapat berupa diameter bit, kekuatan tekan uniaxial, umur bit, kecepatan putar, dan lain sebagainya, serta mempertimbangkan beberapa faktor ekonomi seperti biaya-biaya yang dikeluarkan dalam proses pengeboran berupa biaya bahan bakar, biaya bit dan komponennya, biaya proses pengeboran, dan lain sebagainya. Sehingga akan diperoleh nilai yang optimal, efektif dan efisien dalam prosesnya.

## II. METODE PENELITIAN

### 2.1. Objek Penelitian

Obyek penelitian pada artikel ini adalah pengamatan pada proses pengeboran eksplorasi nikel *full coring* menggunakan mesin JACRO seri 200 di salah satu perusahaan pengeboran yang beroperasi di Weda, Halmahera Tengah.

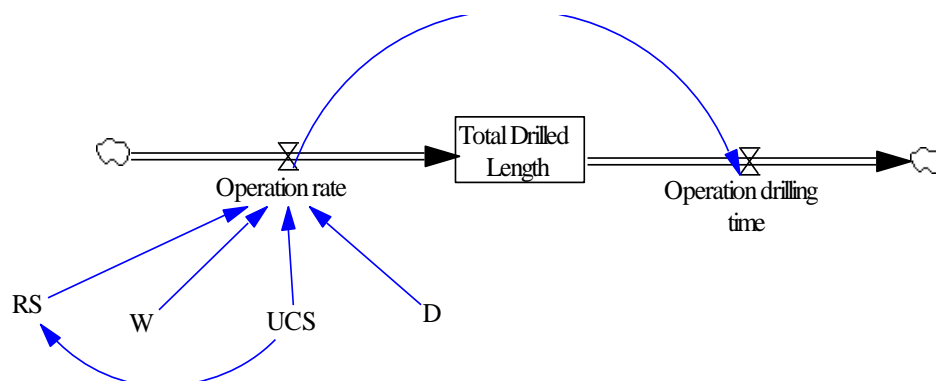
### 2.2. Metode dan Teknik Analisis

Pada artikel ini, menggunakan metode pemodelan sistem dinamik dengan menggunakan alat bantu berupa perangkat lunak VENSIM PLE. Pemilihan metode sistem dinamik didasarkan pada kemampuan sistem dinamik dalam mengenali unsur-unsur dan keterkaitan hubungan antar unsur dalam sistem, serta dapat menunjukkan pengaruh keterkaitan hubungan pada perilaku sistem secara keseluruhan dalam suatu model. Setelah model dapat diformulasikan, perilaku dinamisnya dapat dipelajari melalui simulasi berdasarkan beberapa skenario yang membandingkan antara kondisi nyata dengan perilaku model. Perubahan skenario tersebut didasarkan pada perubahan parameter-parameter baik parameter teknik dan ekonomi dalam proses pengeboran.

Data yang dikumpulkan berupa data masa lalu hingga saat ini pada sebuah perusahaan pengeboran yang bergerak pada bidang pertambangan mineral, khusus pada data pengeboran nikel. Proses pengambilan data menggunakan teknik wawancara kepada manager, supervisor dan operator lapangan. Adapun data-data yang dibutuhkan adalah data produksi, data teknis dan ekonomis seperti tingkat kekerasan batuan (*rock density*), kekuatan tekan (*uniaxial compressive strength*), rata-rata umur bit, biaya bit dan biaya proses pengeboran, serta data-data lainnya.

### 2.3. Tahapan Penelitian

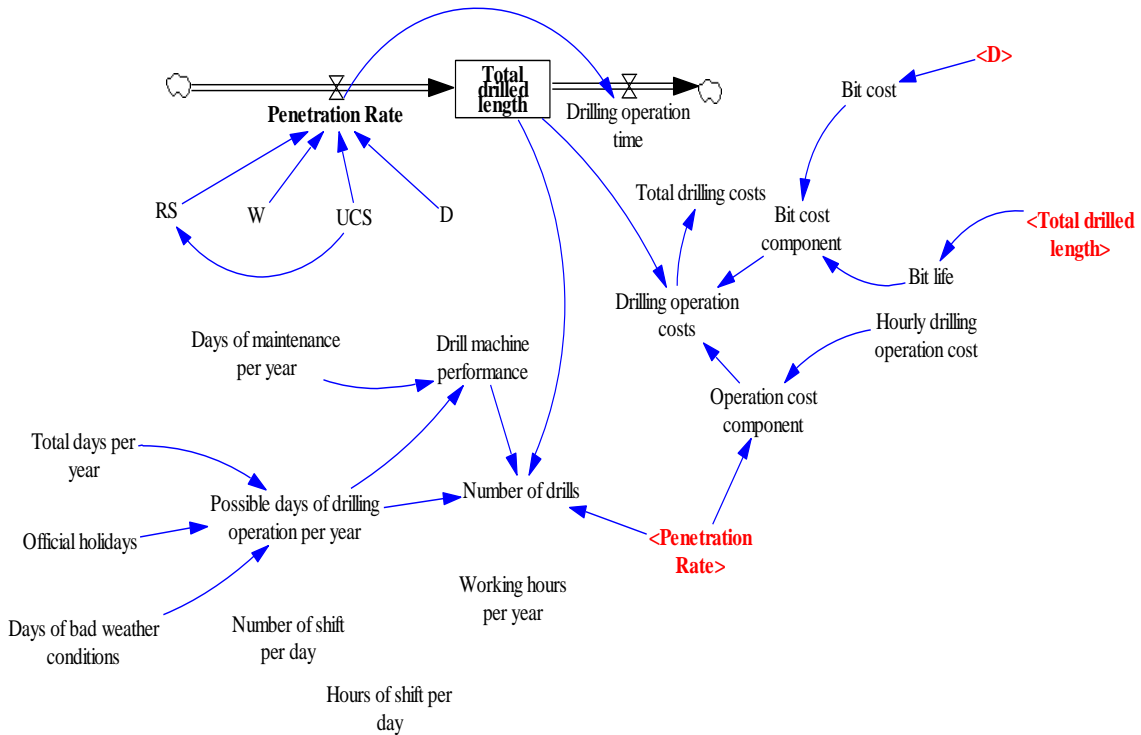
Penelitian diawali dengan studi literatur yang terkait dengan topik penelitian yang dilakukan. Secara umum, terdapat tiga tahapan yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu tahap identifikasi, tahap pemodelan, dan tahap pembahasan dan analisis. Tahap identifikasi merupakan tahap awal ditandai dengan pengumpulan data awal berupa data-data hasil pengeboran (data produksi, data teknis, dan biaya-biaya). Dilanjutkan dengan tahap pemodelan, yaitu membuat konsep berupa gambaran pemikiran terhadap hubungan antar komponen yang berpengaruh pada kajian-kajian. Setelah itu membangun diagram *causal loop* terhadap variabel-variabel yang teridentifikasi. Selanjutnya, membangun formulasi model dalam bentuk *stock* dan *flow* untuk dibuat model matematisnya. Diagram *stock* dan *flow* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram *Stock* dan *Flow* Proses Pengeboran

Model yang sudah dibentuk, kemudian disimulasikan dan diamati perilaku hasil modelnya. Jika grafik perilaku model sama atau penyimpangannya masih dalam batas yang diizinkan, maka dikatakan model valid, karena telah dapat menggambarkan sesuai kondisi nyata. Untuk mengetahui prediksi kondisi periode yang akan datang, maka model disimulasikan

sampai waktu yang diinginkan. Berdasarkan hasil simulasi prediksi, dapat dibuatkan skenario-skenario untuk memperbaiki hasil prediksi yang tidak sesuai tujuan dengan memperbaiki input-input model sehingga berdasarkan hasil simulasi akan dihasilkan suatu rekomendasi alternatif model yang menunjukkan nilai optimal, dimana tahapan ini merupakan tahapan analisa dan pembahasan. Adapun model sistem dinamis pada proses pengeboran yang teridentifikasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Gambaran Umum Sistem Dinamik pada Proses Pengeboran

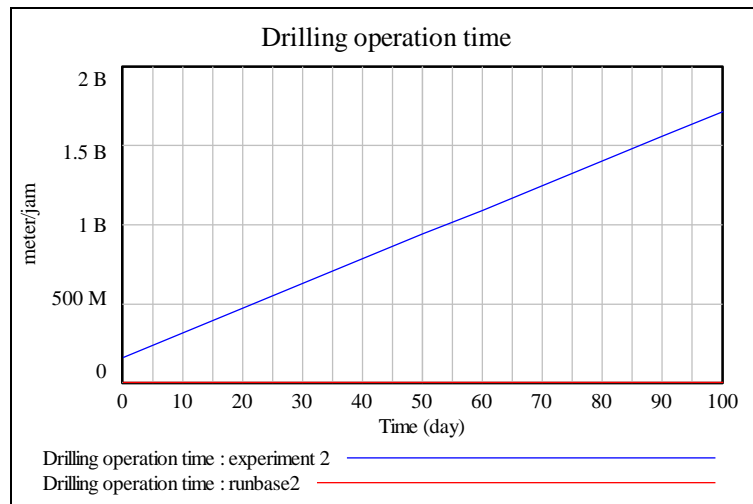
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengeboran eksplorasi nikel yang menjadi obyek pada penelitian ini merupakan pengeboran eksplorasi *full coring* dengan jumlah produksi per lubang bor hingga 60 meter dengan total lubang bor (*bor holes*) sebanyak 1500 holes. Total hari kerja yang dimiliki dalam setahun sebanyak 350 hari. Adapun parameter teknis dan ekonomi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

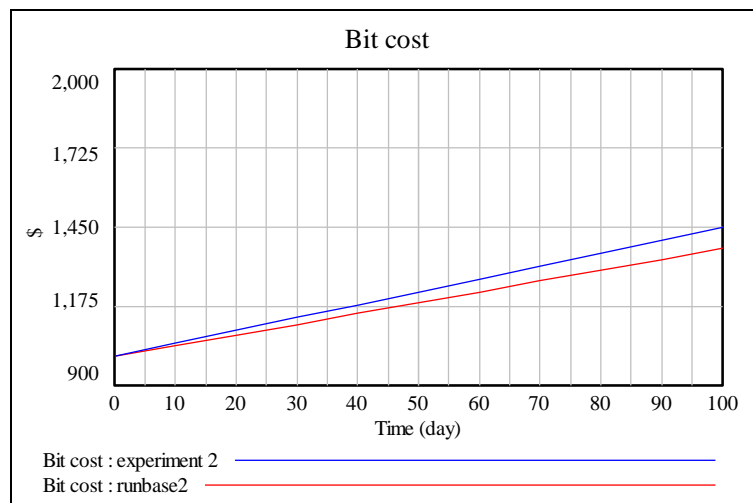
Tabel 1. Parameter Teknis dan Ekonomi

No.	Parameter	Kuantitas
1	UCS	130 – 155 mpa
2	Diameter bit (D)	3,75 inchi dan 5,75 inchi
3	Rotation Speed (RS)	700 – 1500 rpm
4	Pulldown force (W)	50.000 lbs/inchi
5	Rata-rata biaya pengeboran/jam (Average hourly drilling cost)	102,54 \$/hour
6	Rata-rata bit life	300 meter
7	Bit cost	\$ 707,2

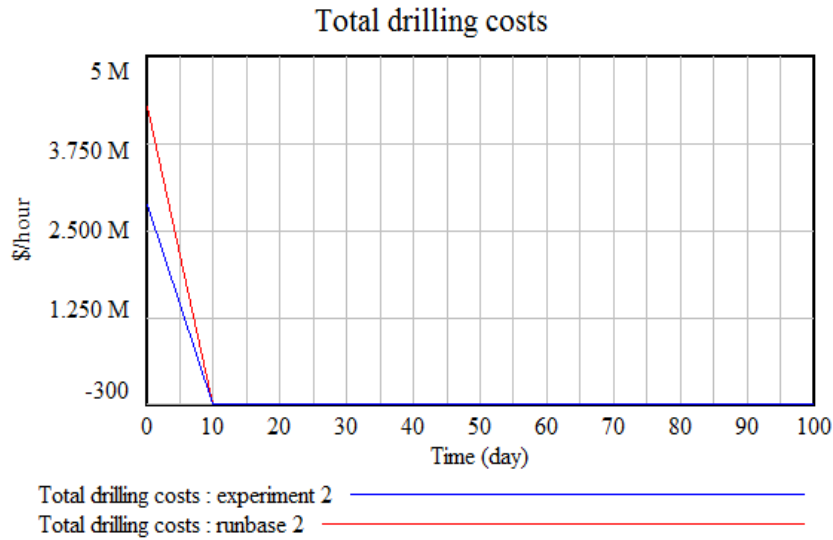
Hasil simulasi menggunakan VENSIM PLE, diameter bit yang digunakan tidak memiliki pengaruh pada tingkat penetrasi (*penetration rate*), tetapi diameter bit yang digunakan mempengaruhi biaya operasional (*operation cost component*), biaya bit (*bit cost*) dan lama waktu proses pengeboran (*drilling operation time*). Dari dua jenis diameter bit yang digunakan, diameter bit 5,75 inci berpengaruh terhadap biaya bit (*bit cost*) dan biaya komponennya yang memiliki nilai rata-rata \$707,2 mengalami kenaikan hingga \$1450 dalam periode tertentu, namun lama waktu proses pengeboran atau *drilling operation time* mengalami peningkatan dimana proses operasi berlangsung lebih cepat sehingga total biaya proses pengeboran (*total drilling cost*) mengalami penurunan yang dapat menutupi pengeluaran biaya bit yang tinggi. Hal ini disebabkan karena walaupun biaya bit dan komponennya menjadi lebih tinggi, tetapi proses pengeborannya yang lebih cepat maka akan mengurangi jumlah biaya-biaya operasi pengeboran selain biaya bit dan komponen bit yang dikeluarkan seperti biaya bahan bakar, polimer, dan biaya tenaga kerja, serta biaya konsumable lainnya, dimana pada akhirnya kondisi ini akan meningkatkan produktivitas proses pengeboran. Grafik dapat dilihat pada Gambar 3 Gambar 4, dan Gambar 5.



Gambar 3. Drilling Operation Time



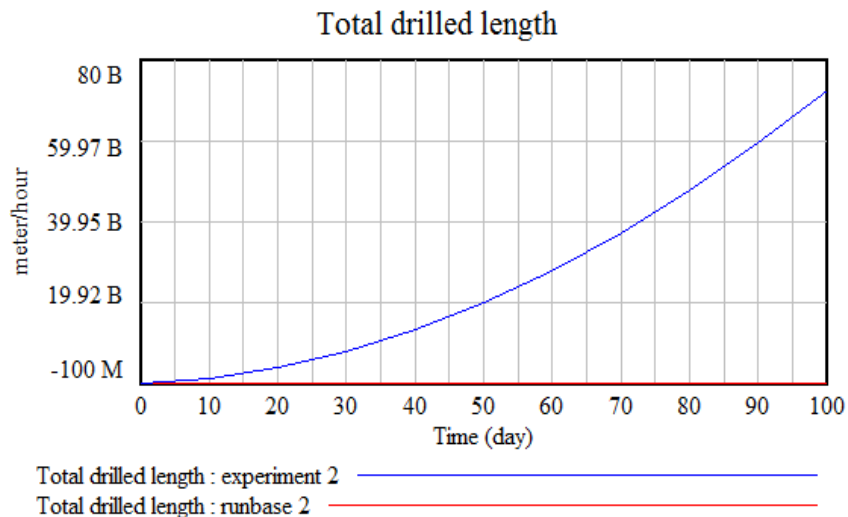
Gambar 4. Bit Cost



**Gambar 5. Total Drilling Costs**

Salah satu tujuan utama penelitian ini adalah menentukan parameter optimal dari parameter teknis dan ekonomi menggunakan model sistem dinamik. Hasil dari proses optimasi yang dilakukan, diameter bit 5,75 inci dapat menutupi produksi 90.000 meter *coring* dalam satu tahun (331 hari). Diameter bit dengan ukuran 3,75 dianggap tidak cukup baik karena meskipun total biaya operasional lebih rendah tetapi tidak mampu memenuhi target produksi tahunan.

Parameter lain yang harus dipertimbangkan untuk mengoptimalkan hasil produksi dalam hal ini adalah total kedalaman lubang bor yaitu parameter UCS dan *pulldown force* (W). Kedua parameter ini masing-masing 140 mpa dan 4375 lbs/inchi, menghasilkan tingkat penetrasi lebih tinggi sehingga proses pengeboran berlangsung lebih cepat (Gambar 6).



**Gambar 6. Total Drilled Length**

#### IV. KESIMPULAN

Pemodelan sistem dinamis yang digunakan dalam menentukan parameter-parameter optimal dalam proses pengeboran eksplorasi pada penelitian ini telah berhasil dilakukan. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan parameter optimal yang berkaitan dengan faktor teknis diperoleh diameter bit tidak mempengaruhi tingkat penetrasi, akan tetapi diameter bit dengan

5,75 inchi mempengaruhi parameter ekonomi dalam hal ini adalah biaya bit, biaya komponen, dan biaya operasional proses pengeboran. Diameter bit dengan ukuran 5,75 inchi juga lebih baik dalam segi waktu proses pengeboran dibanding dengan diameter bit 3,75 inchi. Faktor teknis lainnya yaitu UCS dan *pulldown force* memiliki pengaruh terhadap tingkat penetrasi yang berdampak pada panjang lubang bor yang dicapai dan waktu yang digunakan lebih cepat. Sehingga secara keseluruhan berdampak pada faktor ekonomis dimana biaya yang dikeluarkan lebih rendah.

## V. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abbaspour, H., Drebenstedt, C., Badroddin, M. & Maghaminik, A., 2018. *International Journal of Mining Science and Technology Optimized design of drilling and blasting operations in open pit mines under technical and economic uncertainties by system dynamic modelling*. International Journal of Mining Science and Technology, 28(6), pp. 839-848.
- [2]. Afum, B. & Temeng, V., 2015. *Reducing Drill and Blast Cost through Blast Optimisation – A Case Study* \*. GMJ, pp. 50-57.
- [3]. Bahari, A. & Seyed, A. B., 2009. *Drilling cost optimization in a hydrocarbon field by combination of comparative and mathematical methods*. Petroleum Science, Volume 6, pp. 451-463.
- [4]. Basarir, H., Tutluoglu, L. & Karpuz, C., 2014. *Penetration rate prediction for diamond bit drilling by adaptive*. Engineering Geology, Volume 173, pp. 1-9.
- [5]. Bilim, N., Celik, A. & Kekek, B., 2017. *A study in cost analysis of aggregate production as depending on drilling and blasting design*. Journal of African Earth Sciences.
- [6]. Gokhale, B. V., 2011. *Rotary Drilling and Blasting in Large Surface Mines*. New York: CRC Press.
- [7]. Kipsang, C., 2015. *Cost Model for Geothermal Wells*. Proceedings World Geothermal Congress.
- [8]. Lashari, S. Z. et al., 2019. *Drilling performance monitoring and optimization : a data - driven approach*. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology.
- [9]. Mohammad, Babaei, K. & Robert, H., 2016. *Processing of Measurement while drilling data for rock mass characterization*. International Journal of Mining Science and Technology, 26(6), pp. 989-994.
- [10]. Moraveji, M. & Naderi, M., 2016. *Drilling rate of penetration prediction and optimization using response surface methodology and Bat algorithm*. Journal of Natural Gas Science and Engineering, Volume 31, pp. 829-841.
- [11]. Pathak, K., 2014. *Introduction to Drilling Technology for Surface Mining*. Dalam: Kharagpur: s.n.
- [12]. Practice, C. O. F. (n.d.). *Mineral exploration drilling*.
- [13]. Singh, T. N., Jain, A. & Sarkar, K., 2009. *Petrophysical parameter affecting the microbit drillability of rock*. International Journal Mineral Miner Engineering, 1(3), pp. 261-277.