

Pengembangan Simulator Pengendalian Sumur pada Pemboran Vertikal, Berarah, maupun Horizontal

Oleh:

Hadi Purnomo dan Edward ML Tobing

S A R I

Simulator pengendalian sumur (*well control*) berupa perangkat lunak untuk sumur vertikal, berarah (*directional*) dan horizontal telah dikembangkan berdasarkan persamaan atau korelasi yang telah dipublikasikan. Perangkat lunak ini dirancang agar mudah dioperasikan dengan tampilan pada layar serta mudah dimengerti oleh pemakai (*user-friendly*), dan ditulis dengan bahasa pemrograman Borland Delphi. Tujuan dari pengembangan simulator tersebut adalah untuk meningkatkan kemampuan personel pelaksana pemboran, membantu perencanaan dan untuk mengevaluasi pelaksanaan pemboran yang sedang maupun yang telah dilaksanakan.

Perangkat lunak simulator pengendalian tekanan sumur tersebut telah diverifikasi dengan membandingkan hasil perhitungan perangkat lunak dengan data lapangan dan data dari literatur. Perbandingan hasil tersebut menunjukkan adanya keselarasan antara hasil perhitungan dan data acuan dengan prosentasi penyimpangan berkisar antara 1% sampai 2%.

Kata kunci: simulator pengendalian sumur, pemboran vertikal, pemboran berarah, pemboran horizontal.

ABSTRACT

A well control simulator software has been developed for vertical, directional and horizontal well based on published equations and correlation. This simulator software was designed to meet criteria of easy-operated and user-friendly and written in Borland Delphi language. The development of the simulator is intended for the purposes of training or courses, drilling planning and evaluation of "in-progress drilling" or "completed drilling" operations.

The well control simulator software has been verified by comparing calculation results using the simulator software with field data and data obtained from literature. Comparison results show a good agreement between calculated results and observed data with average deviation within the range of 1% to 2%.

Key word: well control simulator, vertical drilling, directional drilling, horizontal drilling.

I. PENDAHULUAN

Pemboran sumur minyak dan gas bumi merupakan salah satu kegiatan yang mempunyai ciri: padat modal, sarat dengan teknologi canggih serta berisiko tinggi baik ditinjau dari segi keteknikan, keekonomian maupun keselamatan kerja. Selama kegiatan pemboran berlangsung, banyak masalah yang mungkin dihadapi oleh siapapun, pemboran tersebut dilakukan. Salah satu kejadian yang dapat mengakibatkan kerugian waktu, biaya dan rusaknya lingkungan di

sekitarnya adalah semburan liar yang biasa diikuti dengan kebakaran pada seluruh instalasi pemboran. Semburan liar adalah peristiwa mengalirnya fluida dari formasi ke dalam sumur dan menyembur kepermukaan tanpa dapat dikendalikan. Kejadian ini selalu diawali dengan masuknya fluida formasi ke dalam sumur atau lebih dikenal sebagai *well kick*. Secara prinsip penyebab terjadinya *well kick* adalah tidak seimbangannya tekanan hidrostatik yang diberikan lumpur pemboran dengan tekanan formasi. Atau

dengan kata lain, lumpur pemboran tersebut tidak mampu menjalankan salah satu fungsinya untuk mengendalikan tekanan formasi.

Peralatan yang memadai dan melakukan langkah kerja dengan baik adalah faktor yang amat penting untuk menjamin berhasil tidaknya menangani suatu *well kick*. Selain itu diperlukan pula pengetahuan, kemampuan dan langkah yang cepat dan tepat saat menanganinya. Dalam menangani suatu *well kick* pada umumnya menggunakan prinsip mempertahankan tekanan dasar sumur atau lebih dikenal dengan pengendalian sumur. Metoda yang dapat digunakan untuk menanggulangi *well kick* tersebut adalah metode *drill pipe* dan volumetrik. Pada dasarnya metode *drill pipe* memanfaatkan pipa bor sebagai penyalur tekanan untuk mengontrol tekanan dasar sumur, di mana sebagai acuan awal adalah *shut in drill pipe pressure* (tekanan penutupan pipa bor). Sedangkan dasar dari metoda volumetrik adalah melakukan pengontrolan tekanan dasar sumur dengan mengatur volume gas yang berada di *annulus* yang sesuai dengan posisi kedalaman yang mengacu pada *shut in casing pressure* (tekanan penutupan casing) yang akan digunakan dalam perhitungan menanggulangi adanya *well kick* tersebut.

Karena dalam pelaksanaan operasi pemboran dibutuhkan ketepatan dan kecepatan bertindak untuk dapat menanggulangi terjadinya *well kick*, maka pada penerapan metoda penanggulangan *well kick* perlu melakukan perhitungan yang cukup panjang dan harus diselesaikan dengan cepat oleh pelaksana operasi pemboran. Untuk lebih mempermudah hal ini, dapat dimanfaatkan perangkat komputer yang telah cukup memasyarakat.

Melalui penggunaan komputer dengan berbagai kelebihanannya, kesulitan perhitungan tersebut dapat diatasi. Berdasarkan hal tersebut, maka telah dikembangkan simulator pengendalian sumur yang dapat membantu pelaksana operasi pemboran dalam menjalankan tugasnya.

Simulator pengendalian sumur merupakan program komputer yang berguna untuk meningkatkan kemampuan personel (*training*) dan membantu para petugas pemboran dalam merancang dan mengevaluasi pelaksanaan kegiatan pemboran, terutama dalam hal yang berkaitan dengan kejadian *well kick*. Simulator ini dapat pula digunakan untuk merancang program lumpur pemboran dalam pelaksanaan pengendalian sumur, mendeteksi tekanan

formasi dan hal-hal lainnya. Proses pengembangan simulator pengendalian sumur didasarkan pada persamaan dan korelasi yang diperoleh dari literatur, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar disain pada program komputer. Simulator ini dirancang untuk mudah dioperasikan dengan tampilan pada layar monitor dan dibuat semudah mungkin untuk dimengerti oleh pemakai (*user friendly*). Sedangkan bahasa program yang digunakan dalam perangkat lunak ini adalah Borland Delphi. Pengelompokan data masukan dan keluaran dalam simulator ini dibuat sedemikian rupa sehingga mempermudah analisis untuk pengambilan suatu keputusan dengan cepat dan tepat.

Dengan semakin cepatnya suatu proses perhitungan dilakukan, maka pengambilan keputusan akan dapat dilakukan dengan cepat pula. Dengan demikian program *well control simulator* akan sangat membantu baik bagi mereka yang melakukan disain di kantor, maupun operasi lapangan, yang pada gilirannya akan menumbuhkan kebiasaan bagi pelaksana pemboran untuk menggunakan bantuan piranti lunak dalam mengambil keputusan. Dalam tulisan ini disajikan pengembangan simulator pengendalian sumur untuk pemboran sumur vertikal, berarah (*directional*), maupun horizontal.

II. PENCEGAHAN TERJADINYA *WELL KICK*

Terjadinya sembur liar pada kegiatan pemboran suatu sumur, merupakan bencana di mana memerlukan tenaga dan biaya yang sangat besar untuk menanggulangnya. Oleh karena itu kejadian semburan liar harus dapat dicegah. Untuk mencegah terjadinya semburan liar, tindakan yang paling awal dilakukan adalah mencegah terjadinya *well kick*. Oleh karena itu dalam pelaksanaan suatu kegiatan pemboran harus dihindari hal-hal yang dapat menyebabkan terjadinya *well kick*, antara lain: (1) penggunaan lumpur yang terlalu berat sehingga menimbulkan *loss circulation*, (2) penggunaan peralatan, khususnya *blow out preventer* beserta kelengkapannya, dengan spesifikasi yang tidak cukup untuk menahan tekanan pada waktu alat ini digunakan (ditutup) pada saat *well kick* terjadi, (3) pencabutan pipa dilakukan terlalu cepat sehingga terjadi efek *swabbing*, (4) pemasukan atau penurunan pipa dilakukan terlalu cepat sehingga terjadi efek *surging* yang dapat mengakibatkan pecahnya formasi dan hilangnya lumpur ke dalam formasi, dan (5) lubang sumur tidak terisi penuh dengan lumpur.

Langkah kerja pencegahan sembur liar mengikuti pola umum yang sama, seperti halnya program pencegahan kecelakaan lainnya, yaitu perencanaan pemboran yang aman dengan operator pemboran yang terlatih baik dalam penggunaan peralatan. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam upaya pencegahan *well kick* adalah: peramalan kondisi bawah permukaan, perencanaan program-program selubung, lumpur, *coring*, *logging*, *drill stem test* dan kompleksitas yang memadai.

III. PENANGGULANGAN WELL KICK

Apabila tanda-tanda atau petunjuk adanya *well kick* diketahui pada saat pemboran berlangsung, untuk mencegah terjadinya sembur liar, maka sumur harus segera ditutup dan *well kick* harus dengan cepat ditanggulangi sampai tuntas dengan menerapkan beberapa metode yang telah dipublikasikan secara luas. Pada dasarnya penanggulangan *well kick* terdiri atas dua metoda, yaitu: (1) metoda *drill pipe* dan (2) metoda *volumetric*.

Pada metoda *drill pipe*, pipa bor berfungsi sebagai penyalur tekanan untuk mengontrol tekanan dasar sumur, tekanan penutupan pipa bor (*shut-in drill pipe pressure*, SIDPP) menjadi pegangan awal dalam perhitungan penanggulangan. Metode *drill pipe* terbagi dua yaitu : (1) metode *driller* dan (2) metoda *engineer*.

Metode *driller* didasarkan pada pendorongan *kick* ke luar dari sumur dengan menggunakan lumpur lama. Sedangkan pada metoda *engineer*, pendorongan *kick* keluar dari sumur dengan menggunakan lumpur yang sudah diperberat sehingga lumpur tersebut langsung berfungsi sebagai lumpur baru yang akan menggantikan seluruh lumpur lama. Metode *engineer* tersebut dikelompokkan lagi kedalam dua metode, berdasarkan cara penambahan berat jenis lumpur yang akan dimasukkan ke dalam sumur sebagai pendorong *kick* ke luar dan sekaligus menjadi lumpur pengganti, yaitu : (1) metode *Batch* atau *wait and weight* dan (2) metode *concurrent* atau *continuously weighting*. Pada metode *Batch*, berat jenis lumpur disiapkan untuk dinaikkan sesuai dengan berat jenis yang diinginkan dan kemudian disirkulasikan. Sedangkan pada metode *concurrent*, penambahan berat jenis lumpur dilakukan bersamaan dengan berjalannya sirkulasi lumpur sehingga tidak ada waktu jeda untuk menunggu pembuatan lumpur

baru karena yang disirkulasikan adalah lumpur lama bersamaan dengan ditambahkan bahan pemberat secara terus menerus, sampai kondisi lumpur yang diinginkan tercapai.

Metoda *volumetric* dikembangkan untuk mengontrol tekanan dasar sumur yang dalam pelaksanaannya adalah mengatur volume gas yang berada di *annulus* sesuai dengan posisi kedalamannya. Sebagai acuan awal dalam perhitungan penanggulangan digunakan tekanan penutupan pada *casing* (*shut-in casing pressure*, SICP). Aplikasi metoda ini hanya dimungkinkan jika pada lubang bor tidak ada rangkaian pipa bor.

IV. PEMBORAN BERARAH (DIRECTIONAL)

Pemboran berarah adalah suatu teknik untuk membelokkan arah lubang sumur ke suatu sasaran tertentu di dalam formasi, yang tidak terletak tegak lurus dibawah mulut sumur seperti halnya pada sumur vertikal. Dalam operasi pemboran, untuk mencapai target suatu formasi, pada dasarnya yang selalu diinginkan adalah lubang vertikal. Hal tersebut karena cara pengoperasiannya lebih mudah dan juga pada umumnya memerlukan biaya yang lebih murah dari pada pemboran berarah. Dengan demikian, pemboran berarah hanya akan dilakukan karena alasan dan keadaan yang khusus. Alasan dilakukannya pemboran terarah tersebut adalah :

1. Topografi, jika keadaan di permukaan tidak memungkinkan untuk mendirikan lokasi pemboran, misalnya: formasi produktif terletak di bawah rawa/sungai atau bangunan dan perkotaan;
2. Geologis, jika akan menghindari kesulitan yang dihadapi selama operasi pemboran vertikal dilaksanakan, misalnya adanya kubah garam atau patahan;
3. Lain-lain, misalnya karena menyimpang dari garis lurus atau menghindari garis batas dipermukaan, mengatasi semburan liar dengan sumur relief dan pemboran yang dilakukan dengan sistem gugusan sumur (*cluster system*) untuk menghemat luasnya lokasi pemboran baik di daratan maupun di lepas pantai.

A. Jenis Pemboran Berarah

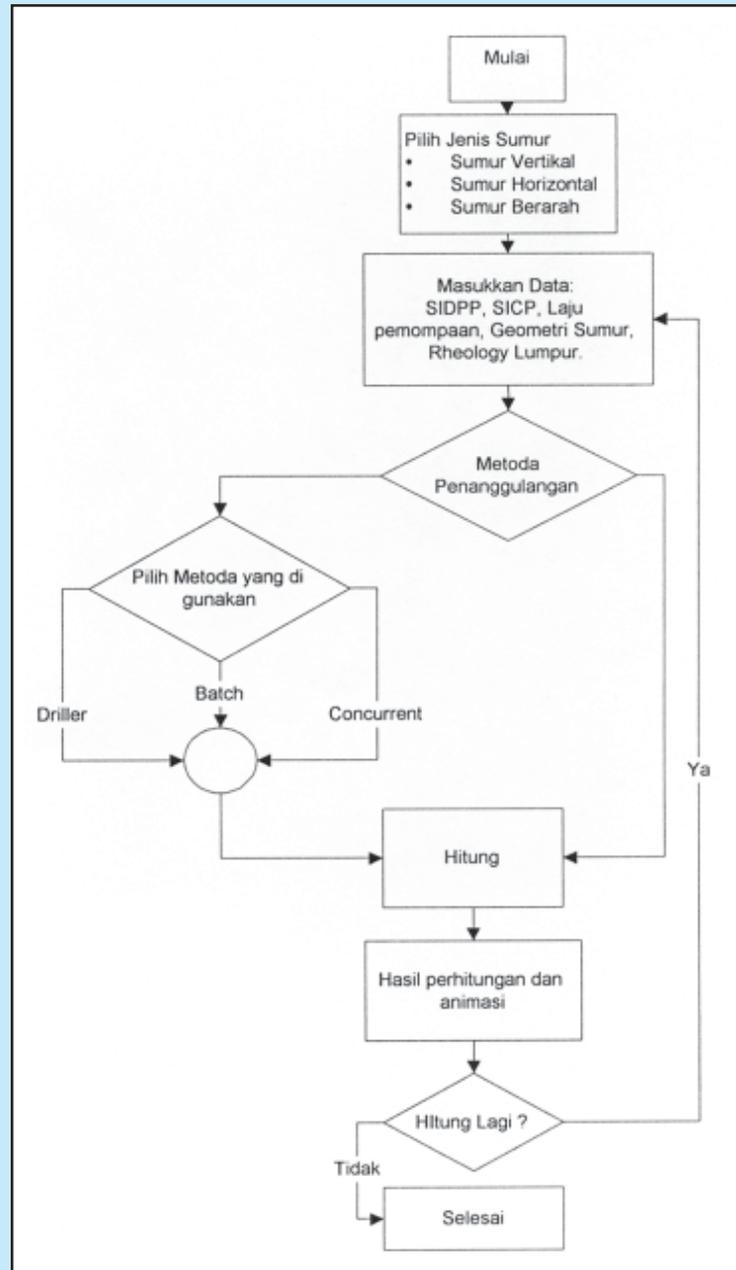
Pada dasarnya dikenal 3 (tiga) jenis pemboran berarah yaitu:

1. *Shallow deviation* atau *build and hold* (belok di tempat yang dangkal). Titik belok (*kick off point*) terletak di kedalaman yang tidak begitu jauh dari permukaan tanah;
2. *Return to vertical* atau *build hold and drop* (kembali ke vertikal). Pada awalnya seperti jenis *shallow deviation*, kemudian kembali vertikal;
3. *Deep deviation* atau *build hold partial drop and hold* (belok di tempat dalam). Titik belok letaknya jauh di dalam permukaan tanah.

Pemilihan dari ketiga jenis pemboran terarah di atas didasarkan pada kedudukan koordinat di permukaan dan jarak antara lokasi permukaan dengan formasi produktif sebagai sasaran, apabila faktor-faktor lain tidak berpengaruh. Sebagai contoh, apabila jarak formasi produktif sebagai sasaran tidak begitu jauh dari sumbu vertikal yang melalui mulut sumur, maka memilih jenis pemboran *deep deviation type* (belok di tempat dalam). Tetapi apabila jarak sasaran jauh dari sumbu vertikal, maka pemboran yang dipilih adalah jenis *shallow deviation* (belok di tempat yang dangkal).

B. Rancangan Pemboran Berarah

Dalam suatu rancangan pemboran terarah, lubang sumur diletakkan pada suatu bidang datar dengan sudut arah dan perubahan sudut pada kemiringan tertentu. Akan tetapi pada kenyataannya, lubang bor tidak terletak pada satu bidang yang disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya faktor formasi dan faktor mekanis. Baik sudut kemiringan maupun sudut arah lubang bor akan selalu berubah-ubah dan menyimpang dari yang telah direncanakan. Sehingga pada pelaksanaan suatu



Gambar 1
Diagram alir perhitungan well kick

pemboran terarah bila telah mencapai suatu kedalaman tertentu, maka akan dilakukan survei terhadap sudut kemiringan dan sudut arah. Dan bila terjadi penyimpangan, maka lubang bor tersebut diarahkan kembali pada arah yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan hasil survei tersebut, maka akan diperoleh:

1. Kedalaman vertikal (*true vertical depth*) pada titik-titik tertentu di dalam lubang sumur.
2. Penyimpangan dari sasaran, sehingga pada titik *survey* dapat dikoreksi arah dan kemiringan lubang bor yang sesuai dengan target awal.

C. Metoda Perencanaan Pemboran Berarah

Saat ini dikenal dua metoda perencanaan pemboran berarah yaitu metoda *tangensial* dan *radius of curvature*.

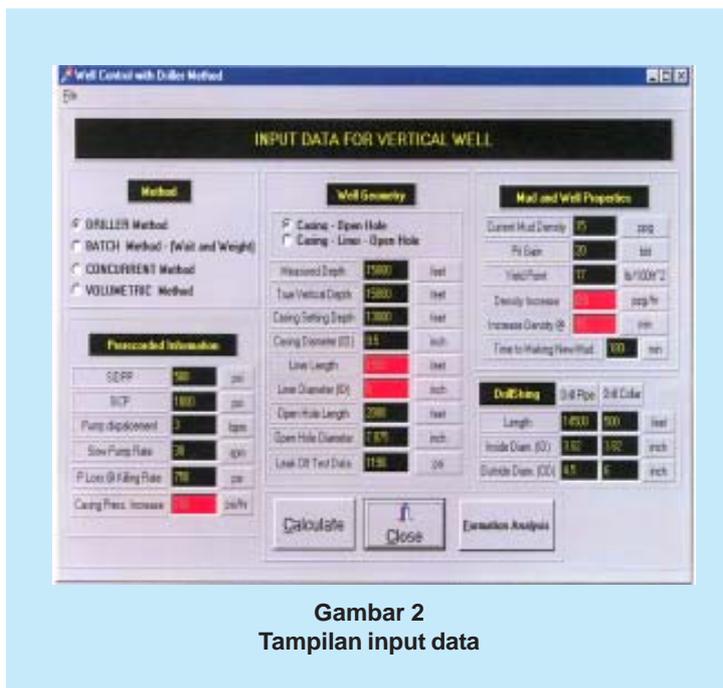
1. Perencanaan dengan metoda *tangensial* menganggap bahwa interval lubang terdiri dari garis patah-patah baik untuk bagian yang *build-up* maupun *drop off*. Atau dapat dianggap bahwa setiap interval yang diambil mempunyai sudut kemiringan yang sama pada awal maupun akhir interval.
2. Pada metoda *radius of curvature* menganggap segmen lubang bor berupa busur suatu lingkaran yang bersifat menyinggung di titik awal dan akhir suatu interval lubang bor yang mempunyai sudut kemiringan dan sudut arah tertentu.

V. PEMBORAN HORIZONTAL

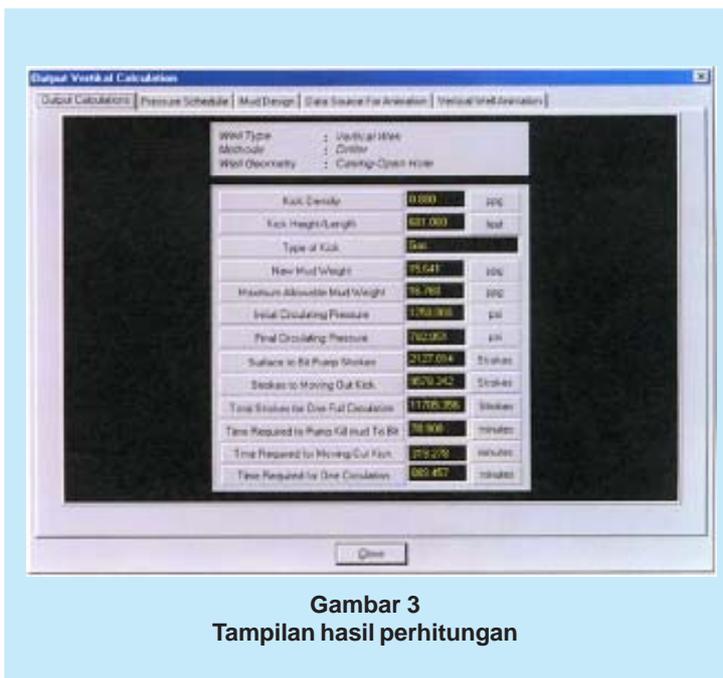
Perkembangan teknologi pemboran horizontal saat ini dapat diklasifikasikan dalam 3 kategori yang menggunakan *build rate* yang berbeda yaitu pemboran horizontal dengan menggunakan *short radius* ($1.5^{\circ} - 3^{\circ}$ setiap *feet*, dengan *build radius* 20 – 40 *ft*), *medium radius* ($8^{\circ} - 20^{\circ}$ setiap 100 *feet*, dengan *build radius* 125- 700 *ft*) dan *long radius* ($2^{\circ} - 6^{\circ}$ setiap 100 *feet*, dengan *build radius* 1000 – 3000 *ft*). Ketiga kategori tersebut dapat diaplikasikan sesuai dengan kebutuhan dan mempunyai keuntungan dan kerugian masing-masing.

Build Curve Design

Dengan adanya penambahan sudut akan menimbulkan persoalan dalam pemboran dan berhubungan erat dengan efek friksi, gravitasi dan pengangkatan *cutting* serta karakteristik formasi yang akan ditembus. Ditambah dengan kegagalan mekanis peralatan yang digunakan pada saat



Gambar 2
 Tampilan input data



Gambar 3
 Tampilan hasil perhitungan

pemboran berlangsung. Untuk menggambarkan bagian pertambahan sudut tersebut dapat menggunakan *metoda radius of curvature*. Metoda ini menganggap segmen-segmen lubang bor berupa suatu lingkaran yang menyinggung dua titik survei yang mempunyai sudut kemiringan tertentu. Interval perhitungan disesuaikan dengan laju pertambahan sudut (*build rate*), yaitu 100 *ft*. Hasil perhitungan

tiap bagian lubang digambarkan dalam bentuk proyeksi vertikal dan horizontal, yang selanjutnya dijadikan pembanding hasil perhitungan data survei operasi pemboran di lapangan.

Jenis bagian penambahan sudut dapat dirancang dengan beberapa cara, yang tergantung dari kemampuan peralatan yang akan digunakan, disamping itu untuk menghindari masalah yang mungkin timbul akibat efek formasi dengan menyediakan interval yang sesuai untuk menghadapi permasalahan tersebut. Kondisi ideal lintasan lubang bor dapat berupa kurva lengkungan untuk bagian penambahan sudut, dan dapat dikombinasikan dengan prinsip *tangential* untuk pembentukan bagian pada kemiringan yang konstan.

Berikut ini adalah jenis rancangan lintasan lubang bor, yang terdiri dari :

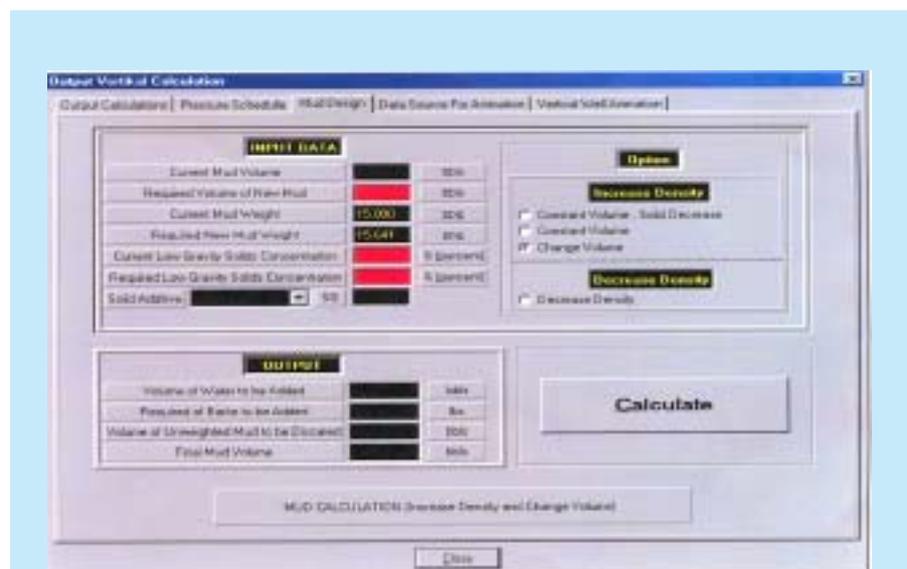
1. *Single build curve* adalah suatu cara untuk membentuk satu lengkungan dengan *build rate* yang konstan dan menggunakan jari-jari lengkungan sumur yang konstan.
2. *Simple tangent build curve* adalah suatu cara membentuk penambahan sudut dengan melalui beberapa tahap, yaitu :
 - a. Lengkungan pertama, dengan laju penambahan sudut dan jari-jari lengkungan lubang bor dengan sudut tertentu, yang kemudian dilanjutkan dengan,
 - b. Bagian *tangential*, merupakan bagian dengan kemiringan yang konstan, dan
 - c. Lengkungan kedua, dengan laju penambahan sudut dan jari-jari lengkungan lubang bor dengan sudut tertentu, yang sama dengan tahap "a".
3. *Complex tangent build curve* adalah suatu cara membentuk bagian penambahan sudut yang hampir sama dengan cara *simple tangent build curve*, akan tetapi pada cara ini laju

pertambahan sudut dan jari-jari lengkungan lubang bor tahap pertama dan kedua sama besar.

4. *Ideal build curve* adalah cara membentuk daerah penambahan sudut dengan menggunakan satu lengkungan, tetapi dengan penambahan sudut dan jari-jari lengkungan sumur yang berbeda.



Gambar 4
 Tampilan skedul tekanan *drill pipe*



Gambar 5
 Tampilan input data *mud design*

VI. PROGRAM KOMPUTER

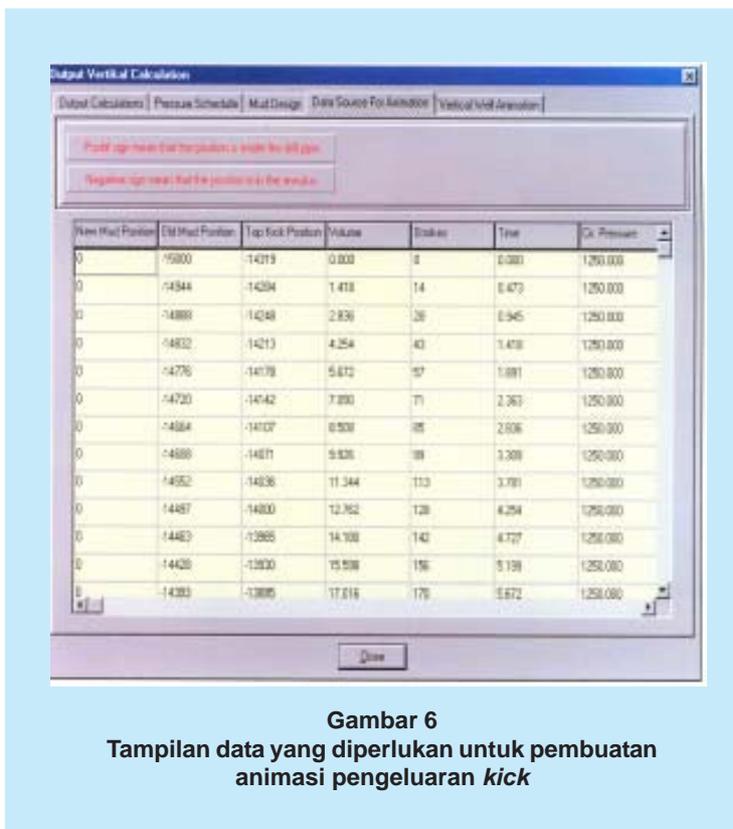
Pengembangan perangkat lunak simulator pengendalian sumur didasarkan pada persamaan atau korelasi yang telah dipublikasikan secara luas yang selanjutnya dituliskan dalam bentuk program komputer. Langkah kerja perhitungan penanggulangan atau pengendalian *well kick* dalam simulator ini berdasarkan semua metoda yang telah dijelaskan sebelumnya yang secara sederhana dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir seperti terlihat pada Gambar 1. Program komputer tersebut dirancang sedemikian rupa agar mudah dioperasikan dengan tampilan layar yang komunikatif atau mudah dimengerti oleh pengguna (*user-friendly*). Bahasa Program yang digunakan untuk menampilkan program dalam sistem Windows adalah Borland Delphi. Contoh tampilan layar masukan dan keluaran dapat dilihat pada Gambar 2 hingga Gambar 13. Pengelompokan data masukan dan keluaran pada tampilan layar dibuat sedemikian rupa sehingga mempermudah analisis untuk keperluan pengambilan keputusan dengan cepat dan tepat.

VII. VALIDASI PROGRAM

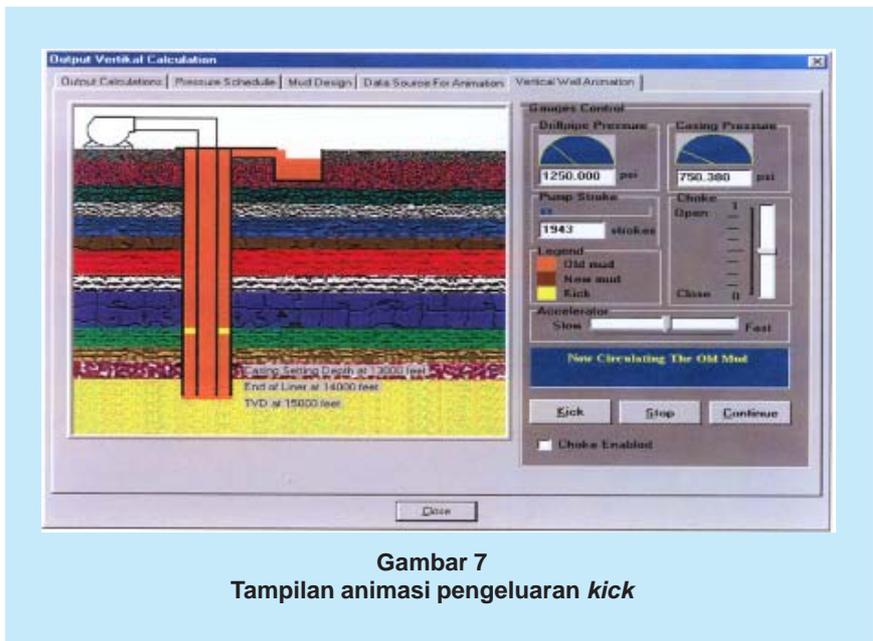
Pengujian keakuratan dan kemampuan Simulator Pengendalian Sumur pada pemboran vertikal, berarah, maupun horizontal dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan dari perangkat lunak dengan hitungan manual dari persamaan atau korelasi yang digunakan sebagai acuan, ataupun dengan data lapangan dan data dari literatur yang tersedia. Perbandingan hasil perhitungan tersebut memperlihatkan adanya keselarasan/kesesuaian antara data hasil perhitungan dan data acuan dengan persentase penyimpangan berkisar antara 1% sampai 2%.

VIII. PEMBAHASAN

Perangkat lunak simulator pengendalian sumur memerlukan perangkat keras komputer (*hardware*) dengan konfigurasi minimal sebagai berikut: (1) *pro-*



Gambar 6
 Tampilan data yang diperlukan untuk pembuatan animasi pengeluaran *kick*



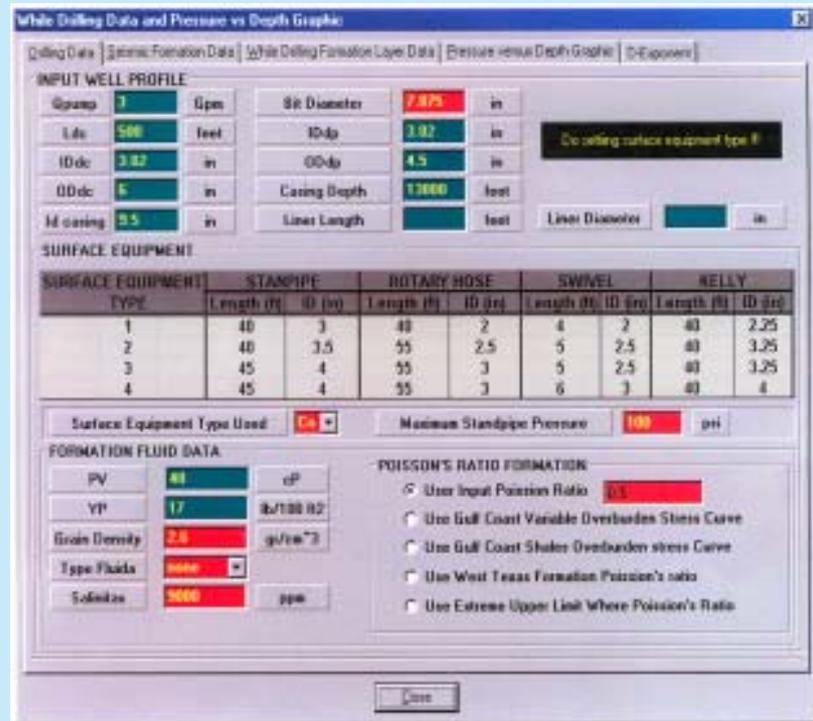
Gambar 7
 Tampilan animasi pengeluaran *kick*

cessor komputer minimal 80386 atau setara, (2) mempunyai memori minimal 2 MB RAM, (3) mempunyai layar monitor minimal VGA, (4) mempunyai *harddisk* minimal 2 MB. Penggunaan program ini hanya dapat dioperasikan dalam sistem

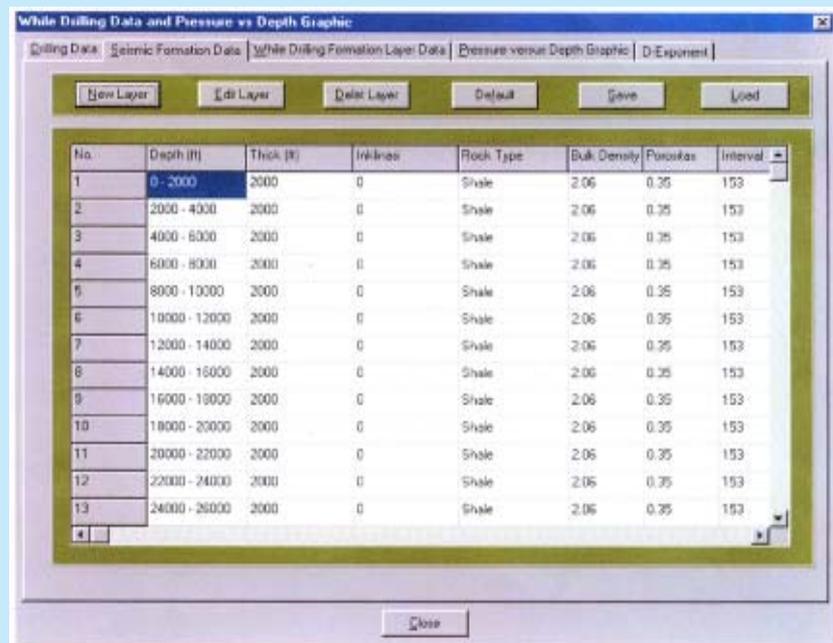
windows (minimal Windows 95).

Sebagai langkah awal pada simulator ini dapat dipilih jenis sumur yang akan dianalisis yaitu sumur vertikal, *directional* maupun *horizontal* yang terdapat pada menu utama. Sedangkan metoda penanggulangan *well kick* terdiri dari metoda *driller*, *wait and weight*, *concurrent* dan *volumetric*. Pemilihan metoda yang akan digunakan tergantung dari kondisi sumur dan penerapan metoda yang dipilih. Optimasi penggunaan metoda yang akan diterapkan dapat dilakukan dengan mempertimbangkan: kondisi tekanan formasi yang akan atau sedang ditembus, persediaan material pemberat lumpur pemboran, peralatan penunjang pencampur lumpur pemboran dan waktu penanggulangan *kick*. Tampilan layar untuk pemilihan keempat metoda penanggulangan *well kick* dapat dilihat pada Gambar 2, sebagai *data input* untuk kasus sumur vertikal. Selain pilihan metoda penanggulangan tersebut pada tampilan layar juga terdapat *data input* lain yang terdiri dari: (1) informasi yang dicatat sebelum dan pada saat sumur ditutup, (2) geometri sumur, (3) Sifat-sifat lumpur dan (4) *drill string*.

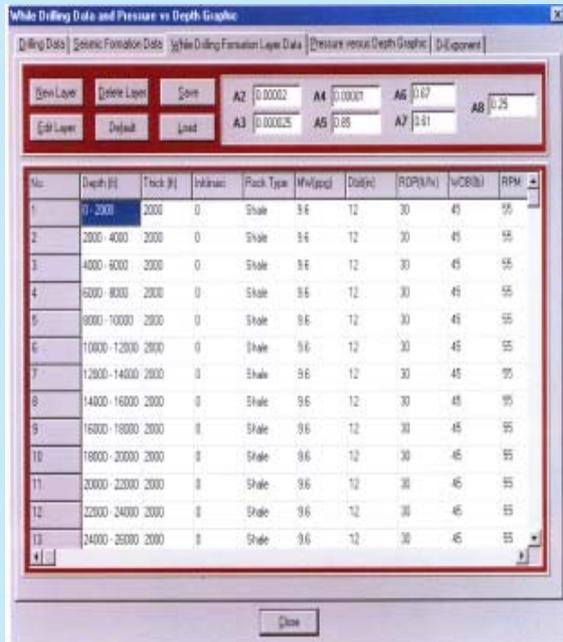
Hasil perhitungan dari data *input* pada Gambar 2, ditampilkan pada layar seperti terlihat pada Gambar 3, yang terdiri dari karakteristik *kick*, parameter penanggulangan *kick* termasuk kinerja pompa yang akan digunakan. Selanjutnya ditampilkan juga *sched-*



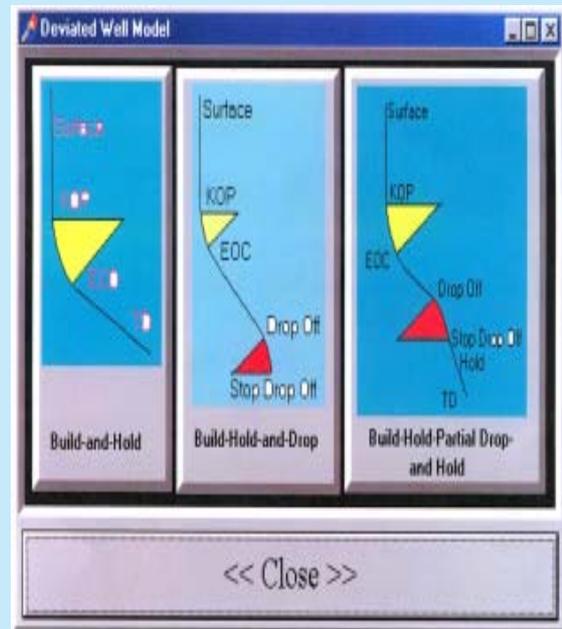
Gambar 8
 Tampilan input *Drilling Data*



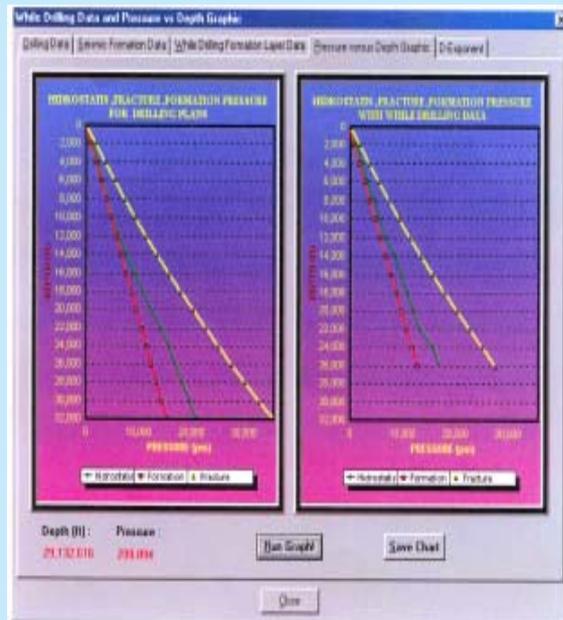
Gambar 9
 Tampilan data seismik formasi



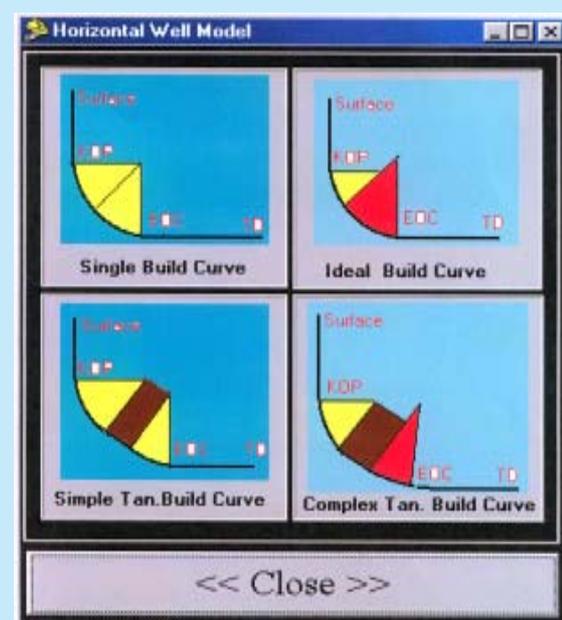
Gambar 10
 Tampilan data formasi selama pemboran



Gambar 12
 Tampilan jenis sumur berarah



Gambar 11
 Tampilan plot tekanan vs kedalaman



Gambar 13
 Tampilan jenis sumur horizontal

ule tekanan *drill pipe* yang berkaitan dengan kinerja pompa selama sirkulasi lumpur berlangsung sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.

Perhitungan berapa *barite* (bahan pemberat) yang dibutuhkan, berapa air yang harus ditambah atau dikurangi, berapa aditif yang dibutuhkan dan volume lumpur yang dibutuhkan dalam operasi penanggulangan dilakukan melalui tampilan layar *Mud Design* yang dapat dilihat pada Gambar 5.

Data yang diperlukan untuk animasi pengeluaran *kick* dapat dilihat pada tampilan layar Gambar 6 dan animasi proses keluarnya *kick* sesuai dengan metoda yang telah dipilih terlihat pada Gambar 7. Dari gambar tersebut dapat dilihat bagaimana *kick* bergerak dari dasar sumur hingga permukaan sumur. Selain itu dapat pula dilihat perubahan tekanan *casing* serta tekanan *drill pipe* selama *kick* dikeluarkan atau selama lumpur baru dimasukkan.

Untuk menampilkan profil tekanan-tekanan hidrostatik, formasi dan *fracture* terhadap kedalaman (Gambar 11) baik itu berasal dari hasil perencanaan maupun dari data yang dicatat selama operasi pemboran berlangsung, maka *Drilling Data* (Gambar 8) harus dilengkapi terlebih dahulu. *Drilling data* tersebut terdiri dari *Well Profile*, konfigurasi peralatan permukaan, *Poisson's Ratio* dari formasi (untuk perkiraan tekanan rekah formasi), serta data fluida yang digunakan untuk perhitungan tekanan hidrostatik dan kehilangan tekanan. Untuk memprediksi profil tekanan sebelum pemboran dilakukan diperlukan data seismik dari formasi yang akan ditembus atau data *Wild Cat Drilling* yang pernah dilakukan di daerah di mana pemboran akan dilaksanakan, seperti terlihat pada Gambar 9. Data tersebut diperlukan untuk perencanaan pemboran agar dalam pelaksanaannya tidak menemui hambatan atau agar pemboran dapat dilaksanakan secara aman. Profil tekanan perkiraan ini selanjutnya dapat dibandingkan dengan profil tekanan sebenarnya yang diperoleh selama pemboran berlangsung, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 11. Sedangkan tampilan data formasi selama pemboran berlangsung disajikan dalam Gambar 10.

Pada sumur berarah atau *directional* terdiri atas tiga jenis yaitu : *build and hold*, *build-hold and drop*, dan *build hold partial drop and hold* yang telah dijelaskan sebelumnya. Tampilan dari ketiga jenis sumur miring tersebut dapat dilihat pada Gambar 12. Sedangkan metoda penanggulangannya terdiri dari

dua macam, yaitu : metoda *driller* dan *batch*.

Untuk sumur horizontal terdiri dari empat jenis yaitu : *single build curve*, *ideal build curve*, *simple tangent build curve* dan *complex tangent build curve*. Tampilan dari keempat jenis sumur horizontal tersebut dapat dilihat pada Gambar 13. Metoda penanggulangan yang dapat digunakan yaitu metoda *driller* dan *batch*.

IX. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengembangan simulator pengendalian sumur serta verifikasi dengan data lapangan dan data dari literatur, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Simulator pengendalian sumur yang telah dikembangkan ini dapat digunakan untuk keperluan pelatihan tentang pengendalian tekanan sumur pemboran vertikal, berarah, maupun horizontal, agar para pelaksana operasi pemboran mempunyai bekal yang cukup dalam menangani *well kick*, guna mencegah terjadinya sembur liar.
2. Simulator pengendalian sumur ini dapat digunakan untuk membantu perencanaan pemboran dan mengevaluasi pelaksanaan pemboran yang sedang maupun yang telah dilaksanakan terutama dalam hal pengendalian sumur.
3. Simulator ini telah diverifikasi berdasarkan data acuan lapangan dan data literatur. Hasil verifikasi menunjukkan adanya kesesuaian antara hasil perhitungan dan data acuan.

KEPUSTAKAAN

1. Bill Rehm, 1976, *Pressure Control in Drilling*, Second Edition, The Petroleum Publishing Co, Tulsa, Oklahoma, USA.
2. Carl Gatlin, 1960, *Petroleum Engineering Drilling and Well Completion*,s, Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs N.J.
3. Craft, Holden dan Graves, 1962, *Well Design : Drilling and Production*, Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.
4. Goin Jr, W.C., 1973, *Blowout Prevention, Practical Drilling Technology*, Second Printing, Volume-1 Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
5. Le Blanc, J.L, Lewis, R.L., 1973, *Mathematical Model of Gas Kick*”, SPE-AIME series No: 6a, Dallas, Texas.

6. Moore P.L., 1974, *Drilling Practices Manual*, The Petroleum Publishing Co, Tulsa.
7. Pilkington P.E., 1974, *Detection of Abnormal Sub-surface Pressure with Drilling and Log Parameters*, Production Services CONOCO, Houston, Texas.
8. Preston L. More, Robert D. Grace dan Jerald L. Shursen, 1975, *Drilling Practices Manual*, Amarillio, Texas.
9. Rabia H., 1985, *Oilwell Drilling Engineering : Principles and Practice*, University of Newcastle upon Tyne, Graham and Trotman Published.
10. Santos, O.L.A., 1990, "Well Control Operations in Horizontal Wells", SPE Petrobras.
11. Schurman, G. A., Bell D.L., 1973, "An Improved Procedure for Handling a Threatened Blow-out", SPE-AIME series No : 6a, Dallas, Texas.
12. Vehring, E.H., dkk, 1995, "An Advanced Kick Simulator for High Angle and Horizontal Wells Part I and II", SPE/IADC 29345.✓