



ANALISIS PENERAPAN METODE GRAFIS DALAM PERENCANAAN DESAIN CASING PADA SUMUR “ALFA” LAPANGAN “AARS” SESUAI STANDAR API 5 CT

Alfandi Alfamurahim ^{1*}, Risna ², Fatma ³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Perminyakan, Sekolah Tinggi Teknologi Migas. Balikpapan

E-mail: alfamurahimalfandi@gmail.com*

ABSTRACT

Drilling operations aim to establish a connecting path between productive formations and the surface through the wellbore. In this activity, the main objective of casing design is to obtain a casing string that is strong, safe, and able to maintain the integrity of the well during the drilling and production stages. Several factors that influence casing planning include casing diameter, casing length, pressure acting on the casing, and various types of loading. Loads that must be considered in casing design include burst, collapse, tension, joint strength, and biaxial, as well as considering the appropriate safety factor value. In the design process, each casing string is evaluated against all these loads to ensure that the casing capacity is able to meet operational requirements at each depth. Based on the results of the burst, collapse, tension, joint strength, and biaxial load calculations, as well as verification of the safety factor value, the appropriate casing grade can be determined. In this design, a 13³/₈ inch surface casing with a P-110 grade, a weight of 68 ppf, and a BTC connection was selected; a 9⁵/₈ inch intermediate casing with a P-110 grade, a weight of 47 ppf, and a BTC connection; and 3¹/₂ inch tubing with L-80 grade, 9.2 ppf weight, and SLA connections.

Keywords: *Drilling operations, casing design, burst load, collapse load, tension load, joint strength load, biaxial load, safety factor, casing grade.*

ABSTRAK

Operasi pemboran bertujuan untuk membentuk jalur penghubung antara formasi produktif dan permukaan melalui lubang sumur (*wellbore*). Dalam kegiatan ini, tujuan utama desain casing adalah memperoleh rangkaian casing yang kuat, aman, dan mampu menjaga integritas sumur selama tahap pemboran maupun produksi. Beberapa faktor yang memengaruhi perencanaan casing meliputi diameter casing, panjang casing, tekanan yang bekerja pada casing, serta berbagai jenis pembebanan. Beban yang harus diperhitungkan dalam desain casing mencakup *burst*, *collapse*, *tension*, *joint strength*, dan *biaxial*, serta mempertimbangkan nilai *safety factor* yang sesuai. Dalam proses desain, setiap rangkaian casing dievaluasi terhadap seluruh beban tersebut untuk memastikan bahwa kapasitas casing mampu memenuhi persyaratan

Article History

Received: Juli 2026

Reviewed: Juli 2026

Published: Juli 2026

Plagiarism Checker No
237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



operasional pada setiap kedalaman. Berdasarkan hasil perhitungan beban *burst*, *collapse*, *tension*, *joint strength*, dan *biaxial*, serta verifikasi nilai *safety factor*, dapat ditentukan grade *casing* yang sesuai untuk digunakan. Pada desain ini dipilih *surface casing* berukuran 13 $\frac{3}{8}$ inci dengan grade P-110, berat 68 ppf, dan sambungan BTC ; *intermediate casing* berukuran 9 $\frac{5}{8}$ inci dengan grade P -110, berat 47 ppf, dan sambungan BTC ; serta *tubing* berukuran 3 $\frac{1}{2}$ inci dengan grade L-80, berat 9,2 ppf, dan sambungan SLA.

Kata kunci: Operasi pemboran, desain *casing*, beban *burst*, beban *collapse*, beban *tension*, beban *joint strength*, beban *biaxial*, *safety factor*, grade *casing*.

1. PENDAHULUAN

Kegiatan pemboran minyak dan gas bumi merupakan salah satu tahapan paling kritis dalam proses eksplorasi dan eksploitasi hidrokarbon karena sangat menentukan keberhasilan produksi, keselamatan kerja, serta efisiensi biaya operasi. Keberhasilan pemboran dipengaruhi oleh ketepatan perencanaan sistem penyangga lubang bor (*wellbore support system*) yang berfungsi menjaga kestabilan sumur sejak tahap pemboran hingga produksi. Salah satu komponen utama dalam sistem tersebut adalah *casing*, yaitu rangkaian pipa baja yang dipasang di sepanjang lubang bor untuk mempertahankan kestabilan formasi, mengisolasi lapisan dengan tekanan yang berbeda, mencegah migrasi fluida antar formasi, serta menjaga integritas mekanis dan hidrolis sumur sehingga operasi pemboran dan produksi dapat berlangsung secara aman, efisien, dan berkelanjutan [1]. Tujuan utama desain *casing* adalah memperoleh rangkaian *casing* yang memiliki kekuatan memadai untuk melindungi sumur selama kegiatan pemboran dan produksi dengan tetap mempertimbangkan aspek keselamatan dan keekonomian [5].

Dalam praktiknya, perancangan *casing* tidak hanya mencakup penentuan ukuran, berat nominal, jenis sambungan, *grade* material, serta kedalaman pemasangan, tetapi juga melibatkan analisis terhadap seluruh beban yang bekerja selama siklus hidup sumur. Beban tersebut meliputi tekanan internal (*burst*), tekanan eksternal (*collapse*), beban tarik (*tension*), serta kombinasi pembebanan aksial dan tekanan yang dikenal sebagai *biaxial load*. Analisis pembebanan menjadi dasar dalam menentukan ketebalan dinding, *grade* baja, jenis sambungan, serta konfigurasi *casing string* agar diperoleh desain yang mampu mempertahankan integritas sumur sepanjang umur operasi [2]. Menurut standar *American Petroleum Institute*



(API), spesifikasi *casing* meliputi diameter luar (*outside diameter*), diameter dalam (*inside diameter*), berat nominal, jenis sambungan, *grade* material, dan *length range*, yang seluruhnya berpengaruh terhadap kemampuan *casing* dalam menahan berbagai kondisi pembebanan selama operasi pemboran maupun produksi [2,7].

Salah satu tantangan utama dalam desain *casing* adalah ketika sumur harus menembus zona bertekanan tinggi (*high pressure zone*) atau zona tekanan pori berlebih (*overpressure zone*). Zona ini merupakan lapisan batuan yang memiliki tekanan pori melebihi tekanan hidrostatik normal pada kedalaman yang sama sehingga berpotensi menimbulkan ketidakseimbangan tekanan selama pemboran [3]. Kondisi tersebut dapat disebabkan oleh *undercompaction*, migrasi fluida, maupun pengaruh temperatur dan reaksi kimia batuan yang meningkatkan tekanan pori formasi [4]. Kesalahan dalam memperkirakan tekanan formasi dapat menyebabkan terjadinya *kick*, *blowout*, kehilangan sirkulasi, hingga kegagalan mekanis *casing*. Oleh karena itu, analisis tekanan formasi menjadi dasar dalam menentukan berat lumpur (*mud weight*), pemilihan *grade* material, serta ketebalan *casing* untuk menjaga keselamatan operasi dan integritas sumur [4].

Fungsi *casing* tidak hanya sebagai pelindung lubang bor, tetapi juga sebagai komponen utama dalam mempertahankan kestabilan sumur selama pemboran maupun produksi. Pemasangan *casing* dilakukan secara bertahap mulai dari *conductor casing*, *surface casing*, *intermediate casing*, *production casing*, hingga *liner* sesuai kondisi geologi dan tahapan pemboran [10,13]. Secara teknis, *casing* harus mampu mencegah keruntuhan dinding sumur, melindungi lapisan air tanah dari kontaminasi lumpur pemboran, mengisolasi zona bertekanan abnormal dan zona kehilangan lumpur (*loss zone*), mempertahankan diameter lubang bor, mencegah komunikasi antarformasi, serta menjadi tempat pemasangan *Blowout Preventer* (BOP) dan peralatan produksi [9]. Agar fungsi tersebut dapat dipenuhi, desain *casing* harus memiliki kemampuan menahan beban *burst*, *collapse*, *tension*, *biaxial*, kompresi, puntir (*torsional*), korosi, serta menjamin kekedapan sambungan (*thread connection*) [5,16].

Dalam desain *casing*, evaluasi terhadap beban *burst* dilakukan untuk memastikan bahwa tekanan internal yang bekerja tidak melebihi kemampuan *internal yield pressure* dari *casing*. Sebaliknya, analisis *collapse* bertujuan memastikan tekanan eksternal akibat kolom lumpur pada annulus tidak melampaui *collapse resistance* sehingga deformasi penampang *casing* dapat dihindari [2,13]. Selain itu, beban tarik (*tension*) yang berasal dari berat rangkaian *casing* menjadi salah satu kondisi paling kritis karena beban maksimum diterima oleh sambungan (*joint*) pada bagian paling atas rangkaian *casing*. Pengaruh gaya apung (*buoyancy*) lumpur



pemboran serta deviasi lubang bor juga perlu diperhitungkan karena dapat memengaruhi besarnya *tension load* yang diterima *casing* [3,13,18]. Pada kondisi tertentu, kombinasi beban tarik dengan tekanan eksternal menghasilkan kondisi *biaxial stress* yang menyebabkan kemampuan *collapse resistance* menurun seiring meningkatnya beban tarik. Oleh sebab itu, evaluasi *biaxial* menjadi bagian penting dalam memastikan integritas struktural *casing* selama operasi berlangsung [3,5,7].

Untuk mengurangi risiko kegagalan mekanis akibat berbagai kondisi pembebanan tersebut, desain *casing* harus memenuhi persyaratan *safety factor* yang direkomendasikan oleh *Petroleum Equipment and Services Association*. Nilai *safety factor* dipengaruhi oleh tingkat ketelitian data kekuatan material, ketepatan estimasi pembebanan, kesesuaian kondisi operasi terhadap kondisi pengujian, serta besarnya risiko yang ditimbulkan apabila terjadi kegagalan *casing* [3,5,7,15]. Dengan demikian, setiap desain *casing* harus mampu menjamin bahwa *joint strength*, *collapse resistance*, dan *internal yield pressure* selalu lebih besar dibandingkan beban aktual yang bekerja selama pemboran maupun produksi.

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam proses desain *casing* adalah metode grafis (*graphical method*). Pendekatan ini memvisualisasikan hubungan antara *burst load line*, *collapse load line*, kapasitas mekanis *casing*, serta distribusi beban sepanjang kedalaman sumur dalam satu grafik sehingga memudahkan identifikasi batas desain, daerah kritis, *transition depth*, maupun potensi *overdesign* dan *underdesign* [5,6]. Melalui metode ini, *engineer* dapat menentukan spesifikasi *casing* yang sesuai, termasuk pemilihan *grade* material, ketebalan dinding, dan *top of cement* (TOC) berdasarkan kondisi pembebanan yang dominan pada setiap interval sumur [5]. Dibandingkan pendekatan numerik konvensional, metode grafis lebih sederhana, intuitif, serta mampu memberikan gambaran awal mengenai keamanan desain sebelum dilakukan verifikasi menggunakan standar *API Technical Report* (API TR) 5C3 maupun ISO 10400 yang mempertimbangkan formulasi mekanis secara lebih rinci [7].

Pada kondisi *High Pressure High Temperature* (HPHT), metode grafis menjadi semakin penting karena mampu memperlihatkan interaksi antara beban *burst*, *collapse*, *tension*, serta distribusi tekanan dan temperatur secara bersamaan dalam satu diagram. Visualisasi tersebut memudahkan evaluasi perubahan kurva kapasitas *casing*, pengaruh tegangan termal, serta identifikasi zona kritis yang berpotensi mengalami kegagalan akibat *burst* maupun *collapse* [2,5]. Selain itu, pendekatan grafis juga mendukung optimasi desain melalui pemilihan *grade* material, ketebalan dinding, dan *safety factor* yang sesuai sehingga margin keamanan desain dapat dievaluasi secara lebih transparan [9].



Dalam praktik industri migas, evaluasi desain *casing* umumnya dilakukan menggunakan metode *stress check* karena mampu menganalisis kondisi pembebanan aktual secara lebih rinci dengan mempertimbangkan beban *burst*, *collapse*, *tension*, *joint strength*, dan *biaxial* selama siklus hidup sumur. Namun demikian, metode grafis tetap banyak digunakan sebagai tahapan awal dalam proses pemilihan spesifikasi *casing* karena lebih sederhana dan efektif dalam mengevaluasi kesesuaian desain berdasarkan grafik performa serta data sumur [2,5]. Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa desain *casing* harus selalu mempertimbangkan kondisi beban maksimum (*worst case load*) agar mampu mencegah kegagalan mekanis selama pemboran dan produksi [1]. Rahman menegaskan bahwa evaluasi *burst*, *collapse*, *tension*, dan *biaxial* merupakan faktor utama dalam menjaga integritas *casing*, sedangkan Paryadi menjelaskan bahwa kegagalan *casing* umumnya disebabkan oleh kesalahan dalam pemilihan *grade* maupun berat *casing* [3,5]. Rubiandini juga menyatakan bahwa desain *casing* harus disesuaikan dengan kondisi tekanan formasi untuk mencegah terjadinya *kick* dan *blowout* [9]. Penelitian Irwansyah (2018) menunjukkan bahwa desain *casing* eksisting masih memenuhi persyaratan terhadap beban *burst*, *collapse*, dan *tension*, namun masih memiliki peluang untuk dioptimalkan dari aspek efisiensi. Sementara itu, penelitian pada sumur HPHT (2020) menunjukkan bahwa peningkatan temperatur dan pengaruh *biaxial load* menyebabkan penurunan kekuatan *casing* sehingga diperlukan penggunaan *grade* material yang lebih tinggi serta *safety factor* yang lebih besar.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi desain *casing* pada Sumur Pemboran ALFA menggunakan metode grafis dengan menganalisis beban *burst*, *collapse*, *tension*, *joint strength*, dan *biaxial* berdasarkan standar API. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan desain perusahaan yang menggunakan metode *stress check* untuk mengetahui tingkat kesesuaian, keamanan, serta potensi optimasi desain *casing* sehingga diperoleh rancangan yang mampu menjamin integritas sumur, meningkatkan keselamatan operasi, dan tetap mempertimbangkan aspek teknis maupun ekonomis.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif melalui analisis desain *casing* pada Sumur Pemboran ALFA di Lapangan AARS. Penelitian dilaksanakan pada periode 1 Oktober-31 Desember 2025 di PT Pertamina Hulu Sanga Sanga (PHSS), Balikpapan, Kalimantan Timur. PHSS merupakan anak perusahaan PT Pertamina Hulu Indonesia (PHI) yang mengelola kegiatan operasi dan bisnis hulu migas di Wilayah Kerja Sanga Sanga dengan menerapkan prinsip



Environmental, Social, and Governance (ESG). Sebagai Kontraktor Kontrak Kerja Sama di bawah SKK Migas, perusahaan menjalankan operasi pemboran dan produksi dengan mengedepankan aspek keselamatan, efisiensi, kepatuhan terhadap regulasi, serta keberlanjutan lingkungan.

Penelitian diawali dengan studi literatur terhadap berbagai referensi teknis yang berkaitan dengan perancangan *casing*, meliputi standar *American Petroleum Institute (API)*, buku teknik pemboran, serta hasil penelitian terdahulu mengenai analisis beban *casing*. Kajian pustaka dilakukan untuk memperoleh dasar teoritis mengenai karakteristik pembebanan *burst*, *collapse*, *tension*, *joint strength*, dan *biaxial*, termasuk prosedur evaluasi desain *casing* sesuai standar API [2,3,5,7]. Tahap berikutnya adalah pengumpulan data sekunder yang diperoleh dari data desain Sumur ALFA, meliputi *true vertical depth (TVD)*, *measured depth (MD)*, diameter lubang bor, ukuran dan spesifikasi *casing*, berat nominal, *grade* baja, jenis sambungan, densitas lumpur, tekanan formasi, tekanan rekah (*fracture pressure*), temperatur operasi, serta data mekanis *casing* berdasarkan spesifikasi API.

Analisis dilakukan menggunakan metode grafis (*graphical method*) sebagai pendekatan dalam pemilihan dan evaluasi desain *casing*. Perhitungan dimulai dengan menentukan distribusi tekanan internal (*burst load*) dan tekanan eksternal (*collapse load*) berdasarkan kondisi pembebanan maksimum. Selanjutnya dihitung beban tarik (*tension load*) dengan mempertimbangkan berat efektif *casing* akibat pengaruh *buoyancy factor*, panjang rangkaian *casing*, serta kondisi deviasi sumur apabila diperlukan. Analisis kemudian dilanjutkan dengan evaluasi *joint strength* untuk memastikan sambungan *casing* mampu menahan beban tarik maksimum, serta analisis *biaxial* guna mengetahui pengaruh kombinasi beban tarik terhadap penurunan *collapse resistance*. Seluruh perhitungan dilakukan menggunakan persamaan desain *burst*, *collapse*, *tension*, *joint strength*, dan *biaxial* sesuai prosedur perencanaan *casing* berdasarkan standar API [2,3,5,7].

Hasil perhitungan setiap jenis pembebanan kemudian diplot ke dalam grafik untuk membentuk *burst load line*, *collapse load line*, serta kurva kapasitas mekanis *casing*. Grafik tersebut digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian spesifikasi *casing* terhadap kondisi operasi, menentukan titik perpotongan (*transition point*), serta mengidentifikasi interval yang dikendalikan oleh beban *burst* maupun *collapse*. Selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap nilai *safety factor* pada setiap kondisi pembebanan sesuai rekomendasi API sehingga dapat diketahui apakah desain *casing* memenuhi persyaratan keamanan operasi [3,5]. Hasil evaluasi metode grafis kemudian dibandingkan dengan desain perusahaan yang menggunakan metode *stress check* untuk menilai tingkat kesesuaian, keamanan, serta potensi optimasi desain *casing* dari



aspek teknis dan ekonomis. Berdasarkan hasil analisis tersebut, disusun rekomendasi desain *casing* yang mampu memenuhi persyaratan integritas sumur serta menjamin keselamatan selama operasi pemboran dan produksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 *Well Profile* dan Data Sumur

Penelitian ini dilakukan pada Sumur ALFA dengan tiga trayek utama, yaitu *surface casing* 13 $\frac{3}{8}$ inci, *intermediate casing* 9 $\frac{5}{8}$ inci, dan *tubing* 3 $\frac{1}{2}$ inci. Analisis dilakukan menggunakan metode grafis (*graphical method*) untuk mengevaluasi kemampuan setiap trayek terhadap beban *burst*, *collapse*, *tension*, *joint strength*, dan *biaxial*. Seluruh parameter desain diperoleh dari data aktual sumur yang meliputi kedalaman sumur (*true vertical depth*), diameter lubang bor, tekanan rekahan, berat lumpur, densitas semen, serta nilai *safety factor* yang digunakan pada masing-masing kondisi pembebanan.

Sebelum dilakukan analisis pembebanan, terlebih dahulu disusun parameter desain untuk setiap trayek *casing* dan *tubing*. Data tersebut digunakan sebagai dasar seluruh proses perhitungan.

Tabel 1. Data *Surface Casing* 13 $\frac{3}{8}$ "

Parameter	Nilai	Satuan
Diameter <i>Casing</i> (OD)	13.375	in
Diameter Lubang Bor	17.5	in
TVD	2908	ft
Tekanan Gas	0.1	psi/ft
Tekanan Rekahan	18.92	ppg
Berat Lumpur	11	ppg
Densitas <i>Lead Cement</i>	13.6	ppg
Densitas <i>Tail Cement</i>	15.8	ppg
<i>Safety Factor Burst</i>	1.1	-
<i>Safety Factor Collapse</i>	1.1	-
<i>Safety Factor Tension</i>	1.3	-
<i>Safety Factor Biaxial</i>	1.25	-

Tabel 1 menunjukkan parameter desain pada trayek *surface casing*. Nilai tekanan rekahan sebesar 18,92 ppg dan berat lumpur 11 ppg digunakan sebagai dasar dalam menentukan beban *burst* dan *collapse*, sedangkan nilai *safety factor* mengacu pada standar desain perusahaan.

**Tabel 2.** Data *Intermediate Casing* 9 $\frac{5}{8}$ "

Parameter	Nilai	Satuan
Diameter <i>Casing</i> (OD)	9.625	in
Diameter Lubang Bor	12.025	in
TVD	6473	ft
Tekanan Gas	0.1	psi/ft
Tekanan Rekahan	19.63	ppg
Berat Lumpur	10.9	ppg
Densitas <i>Lead Cement</i>	12.5	ppg
Densitas <i>Tail Cement</i>	14.5	ppg
<i>Safety Factor Burst</i>	1.1	-
<i>Safety Factor Collapse</i>	1.1	-
<i>Safety Factor Tension</i>	1.3	-
<i>Safety Factor Biaxial</i>	1.25	-

Parameter pada Tabel 2 digunakan sebagai dasar evaluasi *intermediate casing*. Kedalaman pemasangan yang lebih besar menyebabkan tekanan kerja meningkat sehingga diperlukan spesifikasi *casing* dengan kapasitas mekanis yang lebih tinggi dibandingkan *surface casing*.

Tabel 3. Data *Tubing* 3 $\frac{1}{2}$ "

Parameter	Nilai	Satuan
Diameter OD	3.05	in
Diameter Lubang Bor	8.05	in
TVD	7501	ft
Tekanan Gas	0.1	psi/ft
Tekanan Rekahan	19.90	ppg
Berat Lumpur	12.0	ppg
Densitas <i>Lead Cement</i>	13.6	ppg
Densitas <i>Tail Cement</i>	15.8	ppg
<i>Safety Factor Burst</i>	1.1	-
<i>Safety Factor Collapse</i>	1.1	-
<i>Safety Factor Tension</i>	1.3	-
<i>Safety Factor Biaxial</i>	1.25	-

Tabel 3 menunjukkan bahwa trayek *tubing* dipasang pada kedalaman terdalam sehingga menerima kondisi pembebanan yang lebih besar dibandingkan trayek sebelumnya. Oleh karena itu diperlukan evaluasi menyeluruh terhadap seluruh jenis pembebanan.

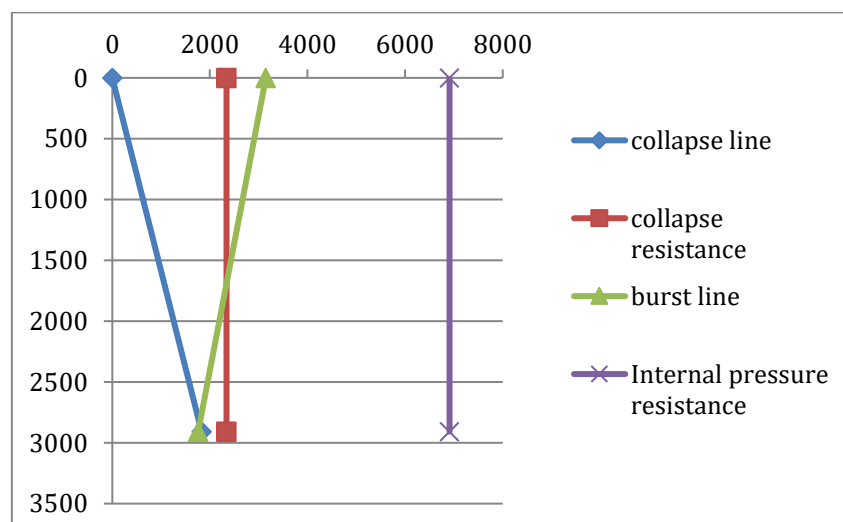
3.2 Analisis Desain *Surface Casing* 13 $\frac{3}{8}$ "

Analisis dimulai dengan mengevaluasi kemampuan *surface casing* terhadap beban *burst*, *collapse*, *tension*, *joint strength*, dan *biaxial*. Perhitungan dilakukan menggunakan parameter desain pada Tabel 1.

Tabel 4. Hasil Perhitungan *Burst* dan *Collapse Surface Casing*

Parameter	Nilai
<i>Burst Pressure</i> Permukaan	2861 psi
<i>Burst Pressure</i> Shoe	2570 psi
Desain <i>Burst</i> Permukaan	3147 psi
Desain <i>Burst</i> Shoe	2827 psi
<i>Collapse</i> Permukaan	0 psi
<i>Collapse</i> Shoe	1663 psi
Desain <i>Collapse</i> Shoe	1829 psi

Tabel 4 menunjukkan bahwa tekanan *burst* maksimum terjadi pada permukaan sebesar 2861 psi, sedangkan tekanan *collapse* maksimum berada pada *casing shoe* sebesar 1663 psi. Setelah dikalikan dengan *safety factor*, nilai desain menjadi 2827 psi untuk *burst* dan 1829 psi untuk *collapse*.



Gambar 2. Grafik *Burst* dan *Collapse Surface Casing*

Berdasarkan grafik diperoleh bahwa garis kapasitas *casing* berada di atas garis beban kerja baik untuk kondisi *burst* maupun *collapse*. Tidak terdapat perpotongan antara kedua kurva

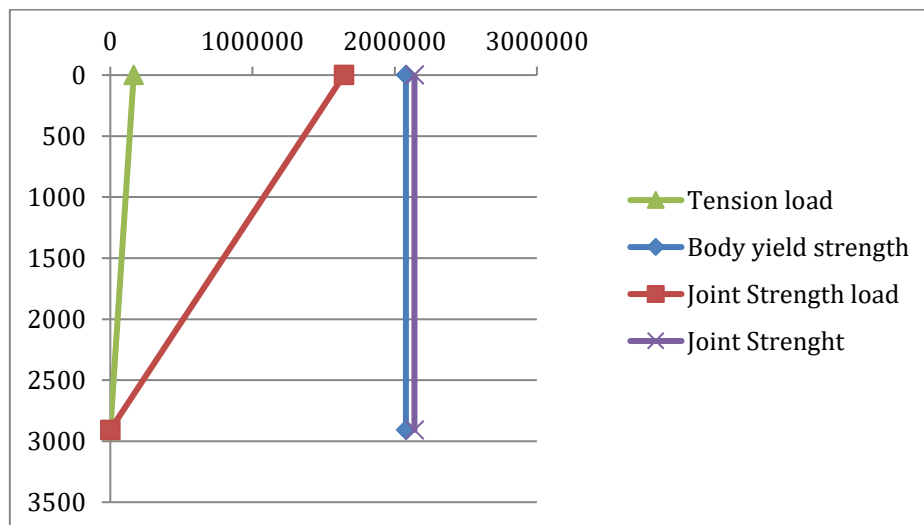
sehingga menunjukkan bahwa spesifikasi *surface casing* masih memenuhi kriteria desain dan mampu mempertahankan integritas sumur selama operasi pemboran.

Selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap beban tarik dan kekuatan sambungan *casing*.

Tabel 5. Hasil Perhitungan *Tension* dan *Joint Strength Surface Casing*

Parameter	Nilai
<i>Buoyancy Factor</i>	0.8320
Berat di Udara	197744 lbs
<i>Tension Load</i>	164535 lbs
Luas Penampang	19.435 in ²
<i>Joint Strength</i>	2,139,000 lbs
Berat Maksimum yang Diizinkan	1,645,384 lbs
Panjang Maksimum	24,196 ft

Berdasarkan Tabel 5 diketahui bahwa *tension load* yang diterima *surface casing* sebesar 164.535 lbs masih jauh di bawah kapasitas *joint strength* sebesar 2.139.000 lbs sehingga sambungan *casing* masih berada pada kondisi aman.



Gambar 3. Grafik *Tension* dan *Joint Strength Surface Casing*

Grafik menunjukkan bahwa kurva *joint strength* berada jauh di atas kurva *tension load*. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa tidak terdapat risiko kegagalan akibat beban tarik selama pemasangan maupun operasi.

Tahap berikutnya adalah evaluasi pengaruh beban *biaxial* terhadap kemampuan *collapse resistance*.

Nilai faktor beban aksial (*axial load factor*) diperoleh sebesar 0,07914. Berdasarkan kurva *biaxial*, nilai tersebut menghasilkan faktor *collapse strength* sebesar 0,978. Dengan demikian



diperoleh nilai *collapse resistance* hasil koreksi (*corrected collapse resistance*) sebesar 2288 psi, yang masih lebih tinggi dibandingkan tekanan *collapse* desain.

Seluruh hasil evaluasi mekanis *surface casing* dirangkum pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Evaluasi *Surface Casing* 13 $\frac{3}{8}$ " (P-110; 68 ppf; BTC)

Beban	Beban Desain	Kapasitas Casing	SF	Keterangan
<i>Burst</i>	2827 psi	6910 psi	2.2	Aman
<i>Collapse</i>	1829 psi	2340 psi	1.3	Aman
<i>Tension</i>	164535 lbs	2,079,000 lbs	12.6	Aman
<i>Joint Strength</i>	1,642,964 lbs	2,139,000 lbs	1.3	Aman
<i>Biaxial</i>	2288 psi	Memenuhi	1.25	Aman

Hasil pada Tabel 6 menunjukkan bahwa seluruh parameter desain memenuhi nilai *safety factor* yang dipersyaratkan. Kapasitas *burst*, *collapse*, *tension*, *joint strength*, maupun *biaxial* masih berada di atas beban kerja aktual sehingga *surface casing* dengan spesifikasi 13 $\frac{3}{8}$ ", 68 ppf, Grade P-110, BTC dinilai layak digunakan pada Sumur ALFA dan mampu menjaga integritas sumur selama operasi pemboran.

4.3 Hasil Perancangan *Casing* Menggunakan Metode Grafis

Perancangan *casing* dilakukan menggunakan metode grafis untuk mengevaluasi kemampuan setiap rangkaian *casing* dalam menahan beban mekanis yang bekerja selama siklus pemboran dan operasi sumur. Analisis meliputi beban *burst*, *collapse*, *tension*, *joint strength*, dan *biaxial*. Setiap hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan nilai kekuatan *casing* berdasarkan spesifikasi *API* serta *safety factor* yang telah ditetapkan. Desain dinyatakan memenuhi persyaratan apabila kapasitas ketahanan *casing* lebih besar dibandingkan beban desain yang bekerja.

4.3.1 Analisis *Surface Casing* 13 $\frac{3}{8}$ "

Analisis diawali pada *surface casing* berdiameter 13 $\frac{3}{8}$ inci yang dipasang hingga kedalaman 2.908 ft. Parameter yang digunakan dalam perhitungan meliputi tekanan rekahan, berat lumpur, densitas semen, tekanan gas, serta nilai *safety factor* sesuai kriteria desain.

Tabel 7. Data *Surface Casing* 13 $\frac{3}{8}$ "

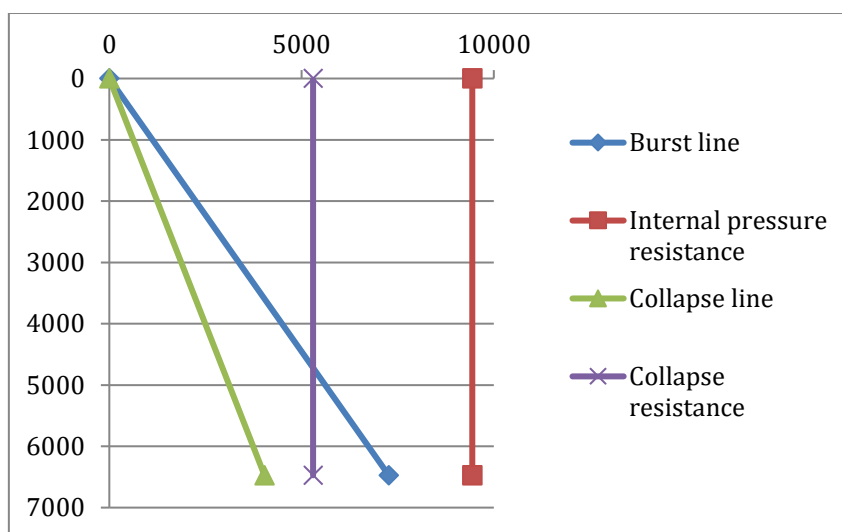
Parameter	Nilai	Satuan
Diameter <i>Casing</i> (OD)	13.375	in
Diameter Lubang <i>Bit</i>	17.5	in
TVD	2908	ft

Tekanan Gas	0.1	psi/ft
Tekanan Rekahan	18.92	ppg
Berat Lumpur	11	ppg
Densitas <i>Lead Cement</i>	13.6	ppg
Densitas <i>Tail Cement</i>	15.8	ppg
<i>Safety Factor Burst</i>	1.1	-
<i>Safety Factor Collapse</i>	1.1	-
<i>Safety Factor Tension</i>	1.3	-
<i>Safety Factor Biaxial</i>	1.25	-

Tabel 7. menunjukkan bahwa *surface casing* dirancang pada kondisi tekanan rekahan sebesar 18,92 ppg dengan berat lumpur 11 ppg sehingga menghasilkan kombinasi beban yang relatif rendah dibandingkan dua rangkaian *casing* berikutnya. Parameter tersebut menjadi dasar dalam analisis *burst*, *collapse*, *tension*, dan *biaxial*.

Analisis Burst dan Collapse

Hasil perhitungan menunjukkan tekanan *burst* desain sebesar **2.827 psi**, sedangkan tekanan *collapse* desain sebesar 1.829 psi.

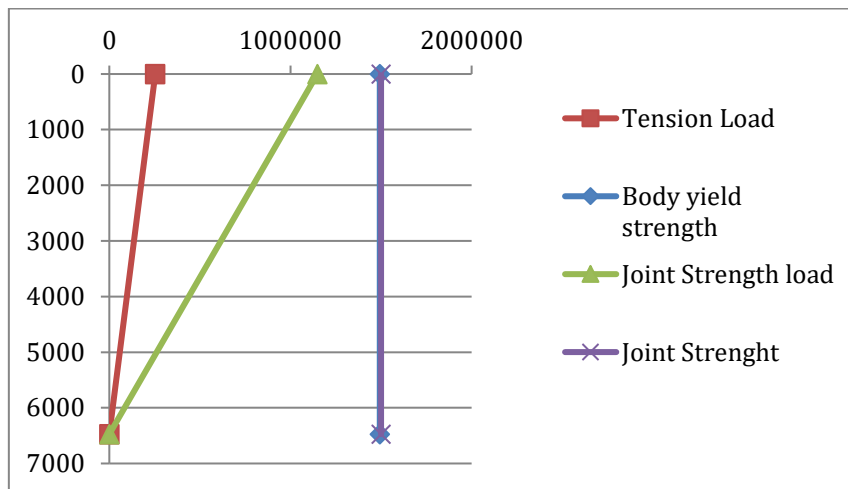


Gambar 4 Grafik Burst dan Collapse Surface Casing 13^{3/8}"

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa garis ketahanan *casing* berada di atas garis beban baik pada kondisi *burst* maupun *collapse*. Kondisi tersebut menunjukkan tidak terdapat titik perpotongan antara kurva beban dengan kurva ketahanan sehingga desain memenuhi persyaratan keamanan.

Analisis Tension dan Joint Strength

Hasil perhitungan menghasilkan beban *tension* sebesar 164.535 lbs, sedangkan kapasitas *joint strength* mencapai 2.139.000 lbs.



Gambar 5 Grafik Tension dan Joint Strength Surface Casing 13 $\frac{3}{8}$ "

Grafik menunjukkan bahwa kapasitas tarik sambungan jauh lebih besar dibandingkan beban tarik aktual sehingga tidak terdapat risiko kegagalan sambungan selama proses pemasangan maupun operasi sumur.

Selanjutnya dilakukan koreksi terhadap pengaruh beban aksial menggunakan analisis *biaxial*. Nilai faktor beban aksial sebesar 0,079 menghasilkan faktor koreksi *collapse strength* sebesar 0,978, sehingga *collapse resistance* terkoreksi menjadi 2.288 psi.

Hasil keseluruhan analisis *surface casing* disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 8 Hasil Analisis Surface Casing 13 $\frac{3}{8}$ "

Beban	Beban Desain	Kapasitas	Safety Factor	Keterangan
<i>Burst</i>	2.827 psi	6.910 psi	2.2	Aman
<i>Collapse</i>	1.829 psi	2.340 psi	1.3	Aman
<i>Tension</i>	164.535 lbs	2.079.000 lbs	12.6	Aman
<i>Joint Strength</i>	1.642.964 lbs	2.139.000 lbs	1.3	Aman
<i>Biaxial</i>	2.288 psi	2.340 psi	1.25	Aman

Berdasarkan Tabel 8 seluruh parameter menunjukkan kapasitas *casing* lebih besar dibandingkan beban desain. Oleh karena itu dipilih spesifikasi *surface casing* 13 $\frac{3}{8}$ ", 68 ppf, Grade P-110, BTC karena memenuhi seluruh persyaratan *burst*, *collapse*, *tension*, *joint strength*, dan *biaxial*.



4.3.2 Analisis Intermediate Casing 9 $\frac{5}{8}$ "

Tahap berikutnya dilakukan pada *intermediate casing* berdiameter 9 $\frac{5}{8}$ inci dengan kedalaman pemasangan 6.473 ft.

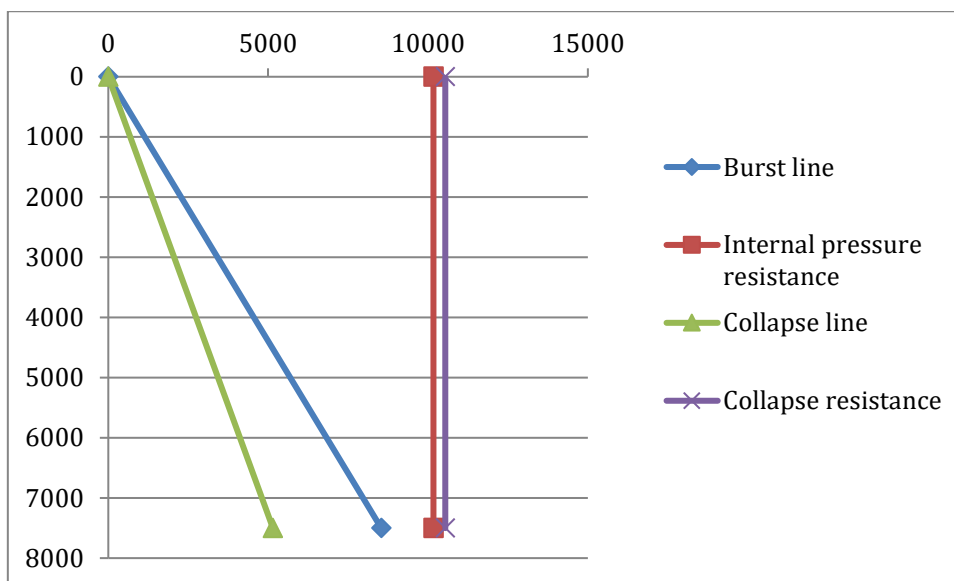
Tabel 9 Data Intermediate Casing 9 $\frac{5}{8}$ "

Parameter	Nilai	Satuan
Diameter <i>Casing</i>	9.625	in
Diameter Lubang <i>Bit</i>	12.025	in
TVD	6473	ft
Tekanan Gas	0.1	psi/ft
Tekanan Rekahan	19.63	ppg
Berat Lumpur	10.9	ppg
Densitas <i>Lead Cement</i>	12.5	ppg
Densitas <i>Tail Cement</i>	14.5	ppg
<i>Safety Factor Burst</i>	1.1	-
<i>Safety Factor Collapse</i>	1.1	-
<i>Safety Factor Tension</i>	1.3	-
<i>Safety Factor Biaxial</i>	1.25	-

Data pada Tabel 9 menunjukkan bahwa peningkatan kedalaman menyebabkan tekanan formasi yang harus ditahan *intermediate casing* lebih besar dibandingkan *surface casing*, sehingga diperlukan evaluasi kapasitas mekanis yang lebih tinggi.

Analisis Burst dan Collapse

Hasil analisis menghasilkan tekanan *burst* desain sebesar **6.556 psi**, sedangkan tekanan *collapse* desain sebesar 4.035 psi.

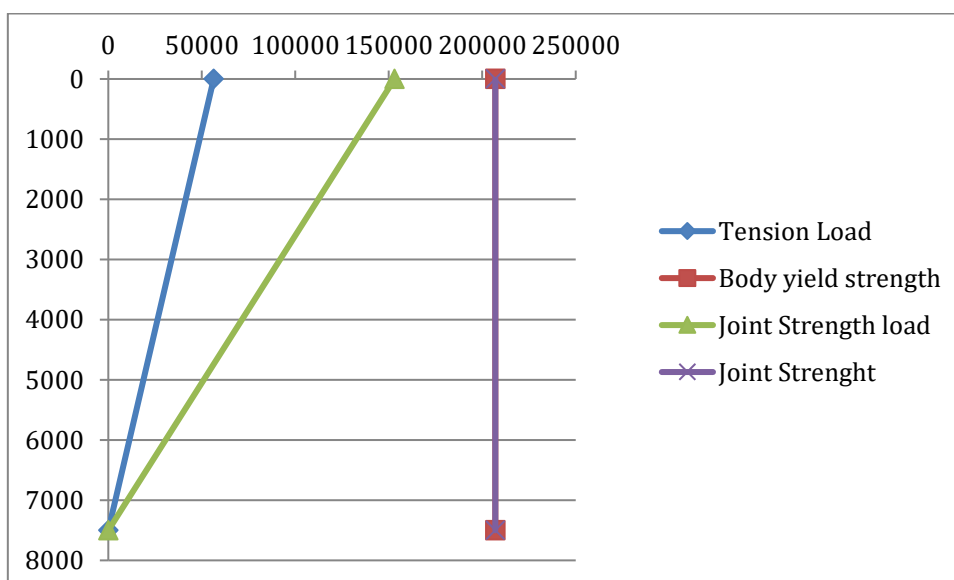


Gambar 6 Grafik Burst dan Collapse Intermediate Casing 9%

Grafik menunjukkan bahwa kapasitas *burst* dan *collapse* masih berada di atas kurva beban sehingga seluruh kondisi operasi masih memenuhi batas keamanan.

Analisis Tension dan Joint Strength

Beban *tension* maksimum diperoleh sebesar 253.603 lbs, sedangkan kapasitas *joint strength* sebesar 1.500.000 lbs.



Gambar 7 Grafik Tension dan Joint Strength Intermediate Casing 9 5/8"



Hasil grafik memperlihatkan bahwa tidak terjadi perpotongan antara kurva beban dan kurva kekuatan sambungan sehingga integritas sambungan tetap terjaga selama pemasangan casing.

Analisis *biaxial* menghasilkan faktor beban aksial sebesar 0,170 dengan faktor koreksi 0,950, sehingga diperoleh *collapse resistance* terkoreksi sebesar 5.035 psi. Hasil lengkap disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10 Hasil Analisis Intermediate Casing 9 $\frac{5}{8}$ "

Beban	Beban Desain	Kapasitas	Safety Factor	Keterangan
<i>Burst</i>	6.556 psi	9.440 psi	1.3	Aman
<i>Collapse</i>	4.035 psi	5.300 psi	1.3	Aman
<i>Tension</i>	253.603 lbs	1.493.000 lbs	5.9	Aman
<i>Joint Strength</i>	1.148.450 lbs	1.500.000 lbs	5.9	Aman
<i>Biaxial</i>	5.035 psi	5.300 psi	1.25	Aman

Berdasarkan hasil pada Tabel 10, seluruh nilai *safety factor* memenuhi standar desain sehingga dipilih spesifikasi *intermediate casing* 9 $\frac{5}{8}$ ", 47 ppf, Grade P-110, BTC.

4.3.3 Analisis Tubing 3 $\frac{1}{2}$ "

Tahap terakhir dilakukan pada rangkaian *tubing* berdiameter 3 $\frac{1}{2}$ inci yang dipasang hingga kedalaman 7.501 ft. Analisis dilakukan untuk memastikan bahwa *tubing* memiliki kemampuan menahan beban selama proses produksi, baik akibat tekanan internal, tekanan eksternal, beban tarik, kekuatan sambungan, maupun kombinasi beban aksial dan tekanan (*biaxial*).

Sebelum dilakukan perhitungan, parameter operasi sumur yang digunakan dalam analisis disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Data Tubing 3 $\frac{1}{2}$ "

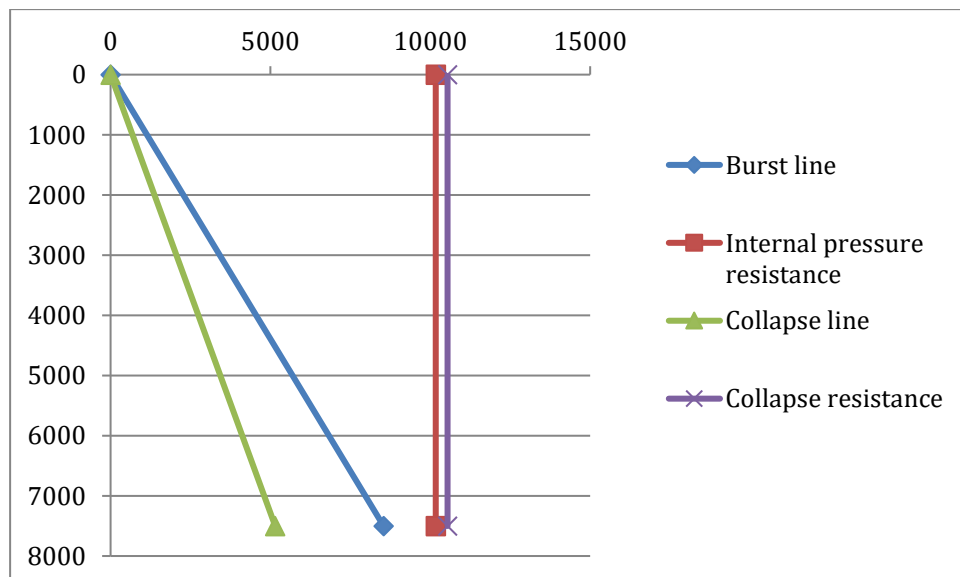
Parameter	Nilai	Satuan
Diameter <i>Tubing</i> (OD)	3.50	in
Diameter Lubang <i>Bit</i>	8.05	in
TVD	7.501	ft

Tekanan Gas	0,1	psi/ft
Tekanan Rekahan	19,90	ppg
Berat Lumpur	12,00	ppg
Densitas <i>Lead Cement</i>	13,6	ppg
Densitas <i>Tail Cement</i>	15,8	ppg
<i>Safety Factor Burst</i>	1,1	-
<i>Safety Factor Collapse</i>	1,1	-
<i>Safety Factor Tension</i>	1,3	-
<i>Safety Factor Biaxial</i>	1,25	-

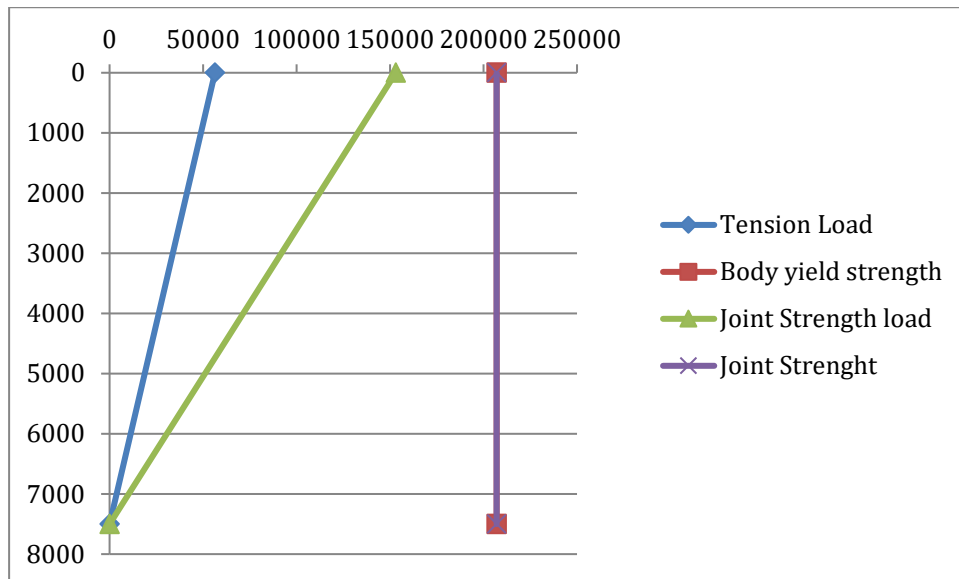
Berdasarkan Tabel 11, *tubing* dipasang pada kedalaman paling dalam dibandingkan dua rangkaian *casing* sebelumnya sehingga menerima beban tekanan yang lebih tinggi. Oleh karena itu diperlukan evaluasi menyeluruh terhadap seluruh jenis pembebanan agar integritas *tubing* tetap terjaga selama masa produksi sumur.

Analisis Burst dan Collapse

Perhitungan menunjukkan bahwa tekanan *burst* desain pada kaki *tubing* sebesar 7.713 psi, sedangkan tekanan *collapse* desain sebesar 5.148 psi. Terlihat bahwa garis ketahanan *tubing* berada di atas garis beban baik pada kondisi *burst* maupun *collapse*.



Gambar 8 Grafik *burst* dan *collapse* (*tubing* 3 - 1/2)

Gambar 9 *Tension dan joint strength (tubing 3 - 1/2)*

Berdasarkan hasil analisis grafik pada gambar 8, dapat disimpulkan bahwa spesifikasi tubing yang dipilih memiliki kapasitas ketahanan yang lebih besar dibandingkan beban tekanan aktual yang bekerja, baik terhadap tekanan *tension* maupun tekanan *joint strength*. Tidak adanya perpotongan antara garis beban dan garis ketahanan menunjukkan bahwa desain tubing masih berada dalam kondisi aman serta memenuhi nilai *safety factor* yang dipersyaratkan. Dengan demikian, desain tubing dinilai mampu menjaga integritas sumur selama proses pemboran dan mendukung operasi yang aman.

Perhitungan *biaxial tubing 3 - 1/2*

a) Factor beban *axial*

$$X = (56366 / 207000) = 0.2723$$

b) Memasukkan harga X ke dalam grafik *biaxial stress* pada yang sudah tersedia, sehingga didapat harga faktor *collapse strength* (0.895).

c) *Collapse resistance* hasil koreksi terhadap beban *tension*

$$CRC = \text{Faktor } collapse \text{ strength } (0.895) \times 10540 = 9433 \text{ psi}$$

Tabel 12 hasil perhitungan *tubing 3 - 1/2*

Tubing 3 -1/2" L- 80 ; 9.2 ppf; SLA						
Beban	Casing desain	Tekanan Collapse internal (psi)	Resistant (psi)	Yield Strength (lbs)	Joint strength (lbs)	SF Keterangan
Burst	7713	10170	-	-	-	1.2 Aman



Tubing 3 - 1/2" L- 80 ; 9.2 ppf; SLA							
Beban	Casing desain	Tekanan Collapse internal (psi)	Resistant Strength (psi)	Yield Strength (lbs)	Joint strenght (lbs)	SF	Keterangan
<i>Collapse</i>	5148	-	10540	-	-	2.0	Aman
<i>Tension</i>	56366	-	-	207000	-	3.7	Aman
<i>Joint strenght</i>	153103	-	-	-	207000	1.4	Aman
<i>Biaxial</i>	9433	-	-	-	-	1.83	Aman

Untuk *grade tubing* setelah diamati melalui perhitungan *burst*, *collapse*, *tension*, *joint strength*, *biaxial* dan nilai *safety factor* maka *grade casing* yang dipakai *Grade casing grade tubing 3 - 1/2"*, 9.2 ppf, L - 80, SLA.

Tidak adanya perpotongan antara kedua kurva menunjukkan bahwa spesifikasi *tubing* masih memiliki kapasitas yang lebih besar dibandingkan beban aktual yang bekerja. Dengan demikian, desain *tubing* memenuhi persyaratan *safety factor* dan dinyatakan aman untuk digunakan pada kondisi operasi sumur.

Analisis Tension dan Joint Strength

Perhitungan beban tarik menghasilkan nilai *tension* sebesar 56.366 lbs, sedangkan kemampuan sambungan (*joint strength*) mencapai 207.000 lbs. Kapasitas sambungan *tubing* jauh lebih besar dibandingkan beban tarik yang diterima. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sambungan *tubing* tidak mengalami kondisi kritis sehingga mampu mempertahankan integritas mekanis selama proses pemasangan maupun operasi produksi.

Selanjutnya dilakukan analisis *biaxial* untuk mengetahui pengaruh kombinasi beban aksial terhadap ketahanan *collapse*. Nilai faktor beban aksial (*axial load factor*) sebesar 0,2723 menghasilkan faktor koreksi *collapse strength* sebesar 0,895, sehingga diperoleh nilai *collapse resistance* terkoreksi sebesar 9.433 psi. Nilai tersebut masih lebih tinggi dibandingkan beban *collapse* desain sehingga *tubing* tetap memenuhi persyaratan keamanan. Hasil keseluruhan analisis *tubing* disajikan pada Tabel 13

Tabel 13 Hasil Analisis Tubing 3½"

Beban	Beban Desain	Kapasitas	<i>Safety Factor</i>	Keterangan
<i>Burst</i>	7.713 psi	10.170 psi	1,2	Aman
<i>Collapse</i>	5.148 psi	10.540 psi	2,0	Aman
<i>Tension</i>	56.366 lbs	207.000 lbs	3,7	Aman
<i>Joint Strength</i>	153.103 lbs	207.000 lbs	1,4	Aman
<i>Biaxial</i>	9.433 psi	10.540 psi	1,83	Aman

Berdasarkan hasil pada Tabel 13, seluruh parameter menunjukkan bahwa kapasitas *tubing* lebih besar dibandingkan beban desain yang bekerja. Nilai *safety factor* pada setiap jenis pembebanan juga memenuhi kriteria desain, sehingga spesifikasi *tubing* yang dipilih dinyatakan layak digunakan. Oleh karena itu, *tubing* yang direkomendasikan untuk sumur penelitian adalah 3½", 9,2 ppf, Grade L-80, SLA.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data, dan perhitungan yang telah dilakukan pada sumur "ALFA", dapat disimpulkan beberapa poin penting yang merangkum keseluruhan proses hasil akhir dari kegiatan yang dilakukan.:

1. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa desain *casing* pada Sumur ALFA mampu menahan beban *Burst*, *Collapse*, *Tension*, *Joint Strength*, dan *Biaxial* selama operasi pemboran dan produksi. Nilai *safety factor* pada setiap *section casing* telah memenuhi standar yang digunakan sehingga desain *casing* dinyatakan aman dan layak digunakan.
2. Penerapan metode grafis terbukti efektif untuk menganalisis kekuatan *casing* terhadap kombinasi beban maksimum dengan memvisualisasikan hubungan antara beban kerja dan kapasitas mekanis *casing*. Metode ini mempermudah identifikasi zona kritis, batas desain, serta evaluasi integritas *casing* secara sistematis.
3. Desain *casing* yang optimal untuk Sumur ALFA diperoleh dengan penggunaan *surface casing* 13⅝" grade P-110 68 ppf BTC, *intermediate casing* 9⅝" grade P-110 47 ppf BTC, dan *tubing* 3½" grade L-80 9.2 ppf SLA. Konfigurasi tersebut mampu memenuhi kriteria keselamatan, menjaga integritas sumur, serta mendukung operasi pemboran dan produksi yang aman dan efisien.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rubiandini, R. (2012). *Teknik Operasi Pemboran Volume 1*. Bandung: Penerbit Institut Teknologi Bandung (ITB).
- [2] Rabia, Hussain. "Fundamentals of *Casing Design*". Kluwer Group. 1987. (Chapter 4 Page 89 - 94, Chapter 5 Page 95 - 130).
- [3] Adams, N. J. (1985). *Drilling Engineering: A Complete Well Planning Approach*. Tulsa, Oklahoma: PennWell Publishing Company.
- [4] Jinxia Zhang (2011). *Applied Petroleum Geomechanics*. Oxford: Elsevier Gulf Professional Publishing.
- [5] Bourgoyne, Adam T. Jr, dkk. "Applied *Drilling Engineering*". USA: SPE Textbook Series, First Printing, Richardson, Texas. 1986.
- [6] Donald K. Smith, & Jean T. Couzen. (1998). *Casing Design and Practices*. New Jersey: Prentice Hall.
- [7] American Petroleum Institute. (2018). *API Technical Report 5CT3: Calculating Performance Properties of Pipe Used as Casing and Tubing*. Washington, DC: American Petroleum Institute.
- [8] Drilling Manual. (2021). *Drilling Engineering Manual: Casing Design, Well Control, and HPHT Well Planning*. Houston, Texas: Drilling Manual Publishing.
- [9] Paryadi. (2001). *Teknik Pemboran Migas dan Perencanaan Casing Sumur*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Perminyakan
- [10] Novandy, F. (2015). Evaluasi Dan Optimasi Perencanaan *Casing* Pada Operasi Pemboran Sumur X-9, Prabumulih Pt. Pertamina Ep. Seminar Nasional Cendekiawan 2015, 326-331.
- [11] Shadizadeh, S. R. (2010). Casing Design Criteria and Standards in Oil and Gas Wells. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 72(3-4), 123-130.
- [12] Joore, P. L. (1974). *Casing Design and Practice*. Netherlands: Kluwer Technical Books.
- [13] Rahman, S.S. Chilingarian, G.V., "*Casing Design Theory and Practice*", Elsevier. Amsterdam, Netherlands. 1995. (Chapter 1, 2, 3).
- [14] Mendonca, L. (2014). Model Perencanaan *Casing* Pada Pengeboran Eksplorasi Sumur X Dengan *Surface 8-1/2* " Lapangan Y Lepas Pantai. *Jurnal Ilmiah Mtg*, Vol. 7, No. 1, Januari 2014, 7(1).
- [15] Hills, J. O. (1984). *Casing Design*. Houston, Texas: Gulf Publishing Company.



- [16] B.S. Aadnoy, T. Soteland, Rogaland U., and B. Ellingsen. “*Casing* Point Selection at Shallow Depth”. SPE/IADC *Drilling* Conference, February 28- March 03, New Orleans, Louisiana. 1989.
- [17] O. Utsalo, O. Olamigoke, “An Excel Based *Casing Design* Application”, SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition, 05 - 07 Agustus, Lagos, Nigeria. 2014.
- [18] Moroni, Luigi., Alain Denax, “Re-*design* of *Casing* Program Due to Enhanced Shale and Salt Stability”, SPE/IADC Middle East *Drilling* Technology Conference & Exhibition, 26 - 28 October, Manama, Bahrain. 2009.