

Re-evaluasi Keamanan *Casing Grade Q-125* Menggunakan Analisis Beban Maksimum pada Sumur Produksi MK

Alfredo Daniel¹, Rian Cahya Rohmana²

Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik dan Teknologi, Tanri Abeng University^{1,2}
alfredo.daniel@student.tau.ac.id¹, rian@tau.ac.id²

Abstrak— Pemasangan *casing* merupakan tahap krusial dalam kegiatan pemboran untuk menjamin integritas dan keamanan sumur. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan re-evaluasi keamanan penggunaan *casing grade Q-125* yang telah terpasang pada sumur produksi "MK" di lapangan "AK". Menggunakan metode analisis beban maksimum (*maximum load*), penelitian ini melakukan perhitungan ulang terhadap tiga beban kritis yakni *burst* (tekanan internal), *collapse* (tekanan eksternal), dan *tension* (gaya tarik) pada rangkaian *surface casing* dan *production casing*. Hasil perhitungan pada *surface casing* hingga kedalaman 4.200 ft menunjukkan beban *burst* di permukaan sebesar 3818.7 Psi dan di dasar sebesar 1890.8 Psi, dengan beban *collapse* sebesar 3.071 Psi. Untuk *production casing* yang terpasang hingga kedalaman 14.200 ft, beban *burst* di permukaan adalah 3.800 Psi dan di dasar sebesar 3.842.8 Psi, sementara rentang beban *collapse* tercatat antara 3510 hingga 10166 Psi. Analisis ini membuktikan bahwa seluruh nilai beban maksimum yang diterima kedua rangkaian *casing* masih berada di bawah batas kapasitas aman (*rating*) dari *casing grade Q-125*. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa desain *casing* yang digunakan pada sumur "MK" adalah aman dan memiliki kekuatan yang memadai untuk menahan beban operasional terburuk yang diantisipasi selama umur sumur.

Keywords — *Casing Design, Re-evaluasi, Maximum load, Beban Burst, Beban Collapse, Q-125*

Abstrak— *Casing installation is a critical phase in drilling operations to ensure well integrity and safety. This study aims to re-evaluate the safety of the existing Q-125 grade casing used in the "MK" production well in the "AK" field. Utilizing the maximum load analysis method, this research recalculates three critical loads: burst (internal pressure), collapse (external pressure), and tension on both the surface and production casing strings. The recalculation for the surface casing, set at a depth of 4,200 ft, shows a surface burst load of 3818.7 Psi and 1890.8 Psi at the casing shoe, with a collapse load of 3,071 Psi. For the production casing, installed to a depth of 14,200 ft, the surface burst load is 3,800 Psi, increasing to 3,842.8 Psi at the shoe, while the collapse load ranges from 3510 to 10166 Psi. This analysis demonstrates that all calculated maximum loads on both casing strings remain well within the specified safety ratings of the Q-125 grade casing. Therefore, it is concluded that the casing design implemented in the "MK" well is safe and possesses adequate strength to withstand the anticipated worst-case operational loads throughout the well's lifespan.*

Keywords — *Casing Design, Re-evaluation, Maximum load, Burst Load, Collapse Load, Q-125*

I. PENDAHULUAN

Kegiatan pemboran minyak dan gas bumi merupakan operasi rekayasa berisiko tinggi yang menuntut perencanaan sistematis dan teliti untuk meminimalkan potensi masalah. Dua aspek penting yang menjadi dasar dalam setiap program pemboran adalah keamanan operasional dan efisiensi biaya. Keamanan, khususnya bagi personil di lapangan, merupakan prioritas absolut yang tidak dapat ditawar. Oleh karena itu, seluruh perencanaan harus mampu mengantisipasi dan memitigasi risiko berbahaya seperti semburan liar (*kick*) atau kegagalan struktural sumur. Di sisi

lain, efisiensi biaya bukan berarti menggunakan material termurah, melainkan alokasi pendanaan yang tepat untuk memastikan program berjalan lancar dan aman, sehingga menghasilkan sumur yang dapat berproduksi optimal sesuai konfigurasi yang direncanakan [1].

Salah satu komponen paling kritikal dalam menjaga keamanan dan stabilitas sumur adalah *casing*, yaitu pipa baja yang dimasukkan ke dalam lubang bor. Fungsi utamanya adalah menjaga kestabilan dinding lubang bor agar tidak runtuh, mengisolasi zona-zona bermasalah seperti zona bertekanan abnormal atau zona *lost circulation*,

serta mencegah kontaminasi fluida pemboran ke formasi bawah permukaan [2]. *Casing* juga berfungsi sebagai penopang struktur kepala sumur (*wellhead*) dan *Blow Out Preventer* (BOP), serta menyediakan jalur sirkulasi lumpur kembali ke permukaan [3]. Berdasarkan hal tersebut, tujuan utama dari perancangan *casing* adalah untuk memperoleh sebuah rangkaian pipa yang kokoh dan andal untuk melindungi sumur, baik selama fase pemboran maupun sepanjang masa produksi.

Proses perancangan *casing* (*casing design*) adalah tahapan yang sangat penting karena melibatkan pemilihan spesifikasi *casing* yang akan berhadapan langsung dengan berbagai jenis beban. Faktor-faktor yang sangat berpengaruh dalam perencanaan meliputi diameter, berat, dan terutama *grade* atau kekuatan material *casing*. Kekuatan ini harus mampu menahan tiga jenis beban utama yang bekerja padanya: tekanan *burst* (bebani dari dalam ke luar), tekanan *collapse* (bebani dari luar ke dalam), dan beban *tension* (gaya tarik akibat berat rangkaian) [3]. Kegagalan dalam memperhitungkan beban-beban ini dapat berakibat fatal pada integritas sumur. Oleh karena itu, pemilihan *casing* yang efektif harus dievaluasi secara cermat untuk memastikan setiap beban yang mungkin terjadi tidak akan melampaui batas kekuatan material setelah ditambahkan faktor keamanan (*safety factor*) [4].

Untuk mengevaluasi kekuatan dan keamanan desain *casing*, salah satu metode yang paling umum dan teruji di industri adalah metode beban maksimum (*maximum load*). Pendekatan ini bekerja dengan mengasumsikan kondisi operasional terburuk yang mungkin dialami oleh sumur [5; 6]. Sebagai contoh, beban *burst* maksimum diperkirakan terjadi saat sumur mengalami *kick* oleh gas formasi, sementara beban *collapse* maksimum diasumsikan terjadi saat terjadi kehilangan sirkulasi lumpur secara signifikan (*lost circulation*) [7]. Penggunaan metode ini telah diterapkan secara luas dalam berbagai studi kasus, baik untuk sumur darat maupun lepas pantai, untuk menghasilkan desain *casing* yang optimal dan aman [4].

Berdasarkan kerangka tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan re-evaluasi terhadap

keamanan *casing grade Q-125* yang telah digunakan pada sumur produksi "MK" di lapangan "AK". Meskipun *casing* telah terpasang, analisis ulang ini penting untuk memverifikasi apakah desain yang ada sudah benar-benar optimal dan aman terhadap potensi beban maksimum selama umur produksi sumur. Menerapkan metode *maximum load*, penelitian ini akan menghitung kembali nilai beban *burst*, *collapse*, dan *tension* pada rangkaian *surface casing* dan *production casing* untuk memastikan bahwa kapasitasnya tidak terlampaui.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mengevaluasi ulang keamanan desain *casing* pada sumur "MK". Metodologi yang menjadi landasan utama adalah metode beban maksimum (*maximum load*), yang dirancang untuk menguji ketahanan *casing* terhadap skenario operasional terburuk yang mungkin terjadi selama masa pakainya [4; 5]. Seluruh proses, mulai dari pengumpulan data hingga analisis, dilakukan secara sistematis mengikuti alur kerja yang dijelaskan di bawah ini (Gambar 1).

A. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer dan sekunder dari sumur "MK", yang diperoleh dari *Computer Analysis Make-up* (CAM) dan lembar data manufaktur *casing*. Data-data utama yang dikumpulkan meliputi:

Data Konstruksi Sumur

Kedalaman total sumur (14.200 ft), kedalaman pemasangan *surface casing* (4.200 ft), dan kedalaman pemasangan *production casing* (14.200 ft).

1. Spesifikasi Casing

Kedua rangkaian (*surface* dan *production*) menggunakan *casing grade Q-125* (Tabel 1 dan 2). Spesifikasi detail seperti diameter luar (13 5/8" untuk *surface* dan 9 5/8" untuk *production*), berat nominal (88.2 ppf dan 58.4 ppf), serta data performa dari manufaktur (*burst rating*, *collapse*

rating, joint strength) dikumpulkan sebagai acuan batas aman.

2. Data Formasi dan Fluida

Gradien rekah formasi (Gfr) pada kedalaman *casing shoe surface*, tekanan dasar sumur (*Bottom Hole Pressure*), serta densitas fluida yang relevan (lumpur pemboran, semen, dan *packer fluid*).

3. Faktor Keamanan (*Design Factor*)

Sesuai standar industri (API, 2005) [8], faktor keamanan yang digunakan adalah 1.1 untuk beban *burst*, 1.125 untuk *collapse*, dan 1.8 untuk *tension*.

Tabel 1. Data *Surface Casing*

Surface Casing	
Casing Grade	Q-125
Out Diameter	13 5/8"
Weight Nominal	88.2 ppf
Range (ft)	R3
Gradient Fracture (Gfr)	16.5 Psi
Length Surface (Ls)	4200 ft
Densitas Semen	12,5 ppg
Densitas Mud	10 ppg
Minimum Section	2100 ft
DF Brust	1.1
DF Collapse	1.125
DF Tension	1.8

Tabel 2. Data *Production Casing*

Production Casing	
Casing Grade	Q-125
Out Diameter	9 5/8"
Weight Nominal	58.4 ppf
Range (ft)	R3
Length Production (Lpd)	14200 ft
Bottom Hole Pressure	3800 Psi
Minimum Length Section	7100 ft
Densitas Semen	16 ppg
Tinggi kolom semen	8000 ft
Densitas Packer	9 ppg
Densitas Mud	13.5 ppg
Tinggi kolom mud	5000 ft
DF (Brust/Collapse)	1.1
DF Collapse	1.125
DF (Tension)	1.8

B. Prosedur Analisis Beban Maksimum

Analisis dilakukan secara terpisah untuk dua rangkaian *casing* yang terpasang, yaitu *surface*

casing dan *production casing*. Untuk setiap rangkaian, dilakukan tiga perhitungan beban kritis.

1. Analisis Beban *Burst*

Beban *burst* dihitung berdasarkan skenario tekanan internal maksimum. Pada *Surface Casing*, skenario terburuk adalah terjadinya *kick* gas yang mengisi seluruh panjang *casing*. Tekanan internal dihitung pada *casing shoe* (berdasarkan gradien rekah) dan di permukaan (dikurangi tekanan hidrostatik kolom gas). Tekanan eksternal dari kolom air diasumsikan membantu menahan beban ini [5].

Pada *Production Casing*, skenario terburuk adalah kebocoran *tubing* di dekat permukaan, menyebabkan tekanan kepala sumur setara dengan tekanan dasar sumur (BHP). Tekanan eksternal berasal dari hidrostatik *packer fluid*.

2. Analisis Beban *Collapse*

Beban *collapse* dihitung berdasarkan skenario tekanan eksternal maksimum, yang umumnya terjadi saat kehilangan sirkulasi lumpur (*lost circulation*) sehingga tekanan internal menjadi minimal.

Pada *Surface Casing*, beban *collapse* utama berasal dari tekanan hidrostatik kolom semen di anulus.

Pada *Production Casing*, beban *collapse* dihitung sebagai kombinasi dari tekanan hidrostatik kolom semen di bagian bawah anulus dan tekanan hidrostatik lumpur pemboran di atasnya.

3. Analisis Beban *Tension*

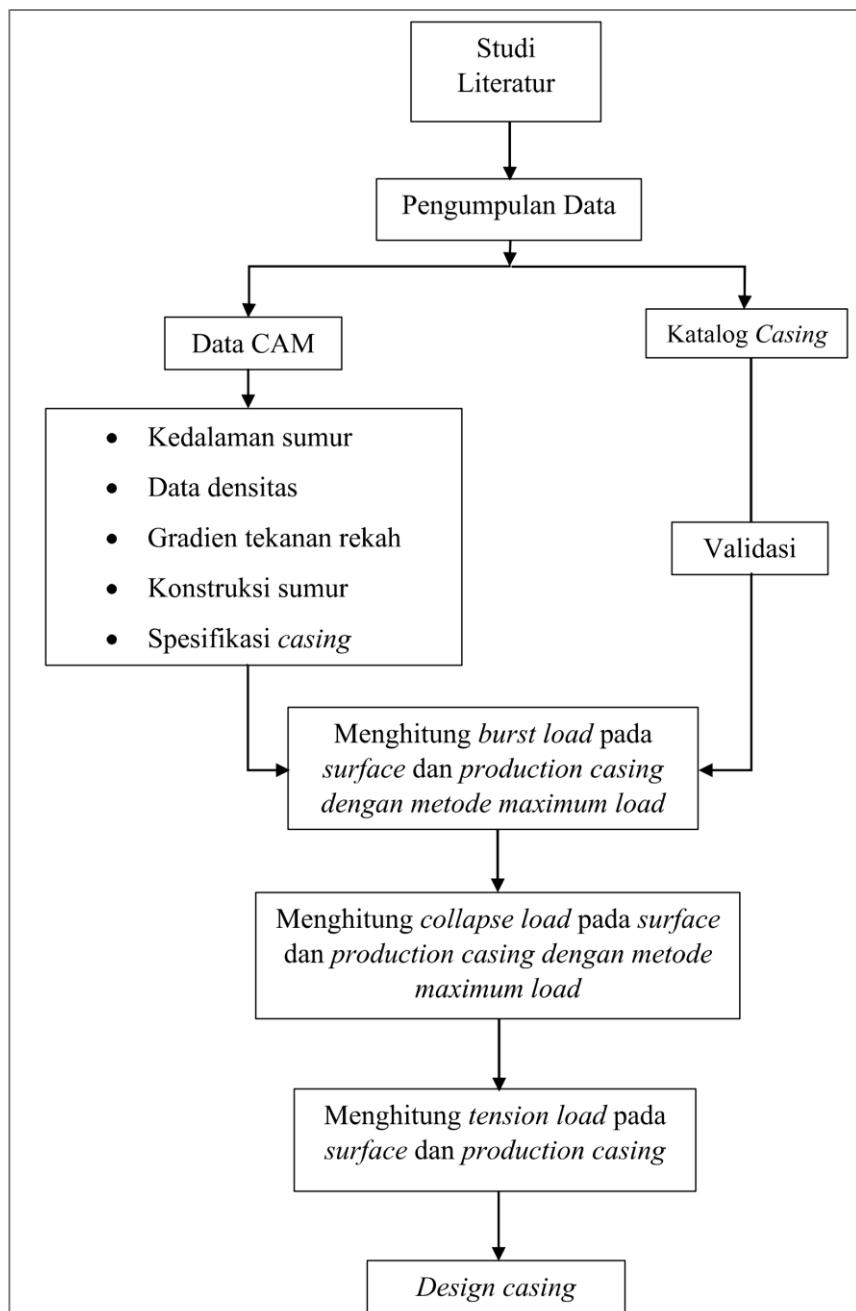
Beban *tension* atau gaya tarik maksimum terjadi pada sambungan teratas (*top joint*) dari setiap rangkaian *casing*. Perhitungan ini mempertimbangkan berat total rangkaian *casing* di udara, yang kemudian dikoreksi dengan *buoyancy factor* (gaya apung) dari lumpur pemboran tempat *casing* tersebut [9].

C. Verifikasi Keamanan

Tahap akhir adalah verifikasi. Hasil perhitungan dari setiap beban (*burst*, *collapse*, *tension*) dikalikan dengan faktor keamanan

masing-masing untuk mendapatkan nilai beban desain. Nilai beban desain ini kemudian dibandingkan dengan data performa (*rating*) yang dikeluarkan oleh pabrikan *casing*. Desain

dinyatakan aman jika nilai beban desain tidak melebihi kapasitas rating dari *casing* Q-125 yang digunakan.



Gambar 1. Alur Kerja Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil analisis kuantitatif dari metode beban maksimum (*maximum load*) yang diterapkan pada *surface casing* dan *production casing* sumur "MK". Setiap hasil perhitungan akan dibahas secara mendalam untuk

menginterpretasikan tingkat keamanan dan kelayakan dari *casing grade* Q-125 yang digunakan.

A. Analisis Keamanan pada Surface Casing

Rangkaian *surface casing* 13 5/8" Q-125 seberat 88.2 ppf dipasang hingga kedalaman

4.200 ft. Evaluasi keamanan untuk rangkaian ini adalah sebagai berikut (Tabel 3):

1. Beban *Burst*

Perhitungan beban *burst*, yang menyimulasikan skenario *kick gas* [7], menghasilkan beban desain sebesar 4.228,2 Psi di permukaan (0 ft) dan 2.079,8 Psi di *casing shoe* (4.200 ft). Ketika nilai-nilai ini dibandingkan dengan kapasitas *burst rating* dari manufaktur, yaitu 10.030 Psi, terlihat jelas bahwa ada margin keamanan yang sangat besar. Ini mengindikasikan bahwa *surface casing* memiliki kekuatan lebih dari cukup untuk menahan tekanan internal terburuk sekalipun tanpa risiko pecah.

2. Beban *Collapse*

Skenario beban *collapse* didasarkan pada tekanan eksternal dari kolom semen saat terjadi kehilangan sirkulasi lumpur [5]. Hasil perhitungan menunjukkan beban desain *collapse* sebesar 3.071 Psi. Nilai ini berada di bawah kapasitas *collapse rating* sebesar 4.800 Psi.

Implikasinya adalah *casing* ini mampu menahan tekanan dari luar dengan baik, bahkan jika tekanan di dalam *casing* turun drastis.

3. Beban *Tension*

Beban tarik maksimum pada sambungan teratas dihitung dengan mempertimbangkan berat total rangkaian yang dikoreksi dengan gaya apung lumpur [9]. Beban desain *tension* yang didapat adalah 533.434 lbs. Nilai ini sangat jauh di bawah kapasitas kekuatan sambungan (joint strength) yang mampu menahan beban hingga 2.528.000 lbs. Margin keamanan yang sangat tinggi ini menunjukkan bahwa risiko kegagalan akibat beban tarik pada rangkaian *surface casing* dapat diabaikan.

Secara keseluruhan, evaluasi pada *surface casing* menegaskan bahwa pemilihan *casing* 13 5/8" Q-125 adalah keputusan yang tepat dan sangat aman.

Tabel 3. Hasil perhitungan pada *surface casing*.

Hasil perhitungan	Surface casing		
	Description	Surface	Casing shoe
	Depth	0	14200 ft
<i>Burst</i>	Ps - IP	3818.7 Psi	3843.8 Psi
	Pe	0	1953 Psi
	Resultan	3818.7 Psi	1890.8 Psi
	DF (1.1)	4228,1 Psi	2079.8 Psi
<i>Collapse</i>	Pe	0	2730 Psi
	DF (1.125)	0	3071 Psi.
<i>Tension</i>	<i>Tension Load</i>	296352 lbs	
	<i>Design Tension</i>	533434 lbs	
<i>Burst Rating</i>		4800 Psi	
<i>Collapse Rating</i>		10030 Psi	

B. Analisis Keamanan pada Production Casing

Rangkaian *production casing* 9 5/8" Q-125 seberat 58.4 ppf dipasang dari permukaan hingga kedalaman akhir 14.200 ft. Rangkaian ini menanggung beban operasional yang lebih kompleks karena berhadapan langsung dengan fluida reservoir (Tabel 4).

1. Beban *Burst*

Skenario terburuk untuk *burst* pada *production casing* adalah kebocoran *tubing* yang menyebabkan tekanan reservoir langsung mengenai *casing* [5]. Hasilnya menunjukkan beban desain *burst* sebesar 4.180,1 Psi di

permukaan dan 4.226,8 Psi di *casing shoe*. Kedua nilai ini secara signifikan lebih rendah dari *burst* rating manufaktur sebesar 13.520 Psi. Hal ini memberikan keyakinan bahwa *casing* mampu menahan tekanan produksi maksimum tanpa risiko kegagalan.

2. Beban *Collapse*

Beban *collapse* pada rangkaian ini merupakan kombinasi dari tekanan hidrostatik lumpur dan semen di anulus. Perhitungan menghasilkan rentang beban *collapse* antara 3.510 Psi (di puncak kolom semen) hingga 10.166 Psi (di dasar sumur). Kapasitas *collapse* rating untuk *casing* ini adalah 10.530 Psi. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun beban *collapse* di dasar sumur sangat tinggi, nilainya masih berada sedikit di bawah

batas aman material. Margin keamanannya lebih tipis dibandingkan beban lainnya, namun secara teknis masih memenuhi syarat, memvalidasi bahwa *casing* tetap aman dari risiko keruntuhan akibat tekanan eksternal.

3. Beban *Tension*

Beban tarik pada rangkaian *production casing* yang sangat panjang ini menghasilkan beban desain *tension* sebesar 1.179.236 lbs. Nilai ini dibandingkan dengan kapasitas kekuatan sambungan sebesar 2.109.918 lbs. Sama seperti *surface casing*, terdapat margin keamanan yang sangat memadai, yang memastikan integritas rangkaian terhadap beratnya sendiri selama operasi.

Tabel 4. Hasil perhitungan *production casing*

Hasil perhitungan	Production casing		
	Description	Surface	Casing shoe
	Depth	0	14,200 ft
<i>Burst</i>	Ps - Pcs	3800 Psi	10,445.6 Psi
	Pe	0	6,603 Psi
	Resultan	3800 Psi	3,842.8 Psi
	DF (1.1)	4180,1 Psi	4,226.8 Psi
<i>Collapse</i>	P1	-	3,510 Psi
	P2	-	10,166 Psi
<i>Tension</i>	<i>Tension Load</i>	658,359 lbs	
	<i>Design Tension</i>	1,179,236 lbs	
<i>Burst rating</i>		13,520 Psi	
<i>Collapse rating</i>		10,530 Psi	

C. Implikasi Hasil

Hasil re-evaluasi ini secara konsisten menunjukkan bahwa semua nilai beban desain (*burst*, *collapse*, dan *tension*) untuk kedua rangkaian *casing grade* Q-125 tidak melampaui kapasitas material yang ditetapkan oleh pabrikan.

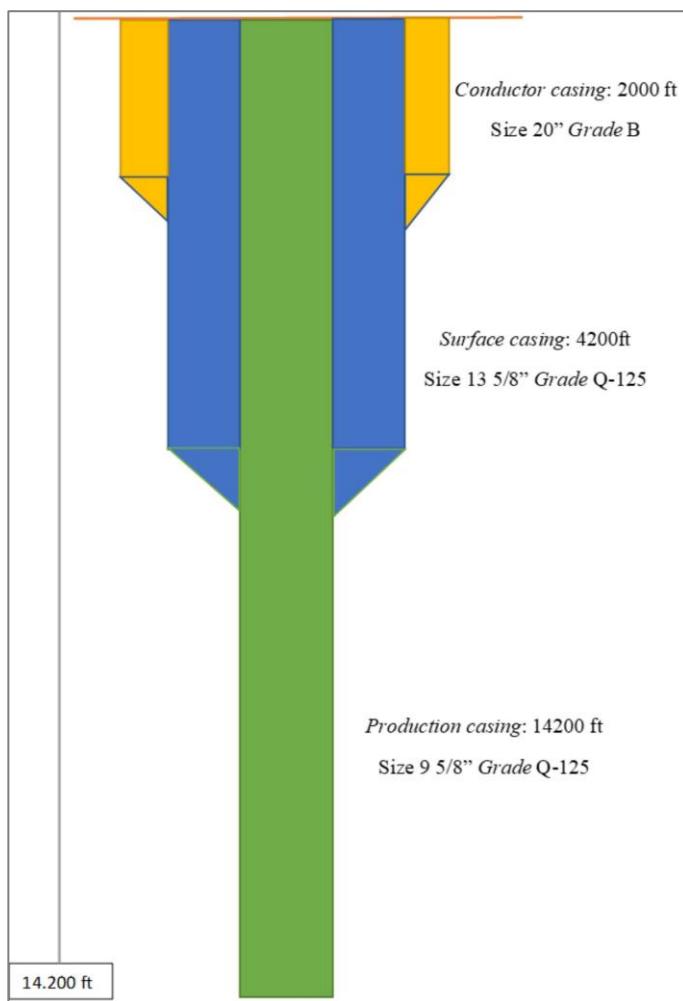
Rancangan *casing* (Gambar 2) dimulai dari ukuran *casing* yang terbesar (*Conductor Casing*) berukuran 20 inch, mulai dari permukaan sampai kedalaman 2000 ft. Setelah *conductor casing* terpasang, *surface casing* dipasang dengan ukuran

13 5/8 inch dengan menggunakan grade Q-125 88,2 ppf BTC dari permukaan sampai dengan kedalaman 4200 ft. Rancangan *casing* terakhir adalah *production casing* menggunakan *casing* berukuran 9 5/8 inch grade Q-125 58,4 ppf BTC dari permukaan sampai dengan kedalaman 14200 ft.

Verifikasi ini membuktikan bahwa desain *casing* yang diimplementasikan pada sumur "MK" adalah desain yang kuat, andal, dan aman. Implikasi praktisnya adalah sumur ini dapat

dioperasikan dengan tingkat kepercayaan yang tinggi terhadap integritas strukturalnya, meminimalkan risiko operasional yang berkaitan

dengan kegagalan *casing* sepanjang umur produktifnya.



Gambar 2. Skema casing pada sumur MK (*no scale*)

D. Batasan dan Langkah Lanjutan

Meskipun hasil re-evaluasi ini memberikan kesimpulan yang positif mengenai keamanan *casing* sumur "MK", penting untuk memahami konteks dan batasan dari analisis yang dilakukan. Metode beban maksimum secara inheren bersifat deterministik [4; 5], metode ini mengasumsikan skenario terburuk tungal untuk setiap jenis beban tanpa memperhitungkan probabilitas kejadianya. Hal ini merupakan sebuah penyederhanaan yang efektif untuk evaluasi dasar, namun mengabaikan faktor-faktor dinamis lain yang dapat mempengaruhi integritas *casing* jangka panjang.

Salah satu batasan utama dari analisis ini adalah tidak diperhitungkannya efek kelelahan

material (*fatigue*) atau degradasi akibat lingkungan korosif yang mungkin ada di reservoir "AK". Beban siklik selama fase produksi atau paparan terhadap fluida asam seperti H₂S dan CO₂ dapat menurunkan kekuatan material *casing* seiring waktu, sebuah faktor yang tidak ditangkap oleh model *maximum load* statis ini [3]. Selain itu, analisis ini mengasumsikan properti material *casing* seragam dan sesuai dengan spesifikasi pabrikan, tanpa memperhitungkan potensi cacat manufaktur atau kerusakan selama instalasi.

Untuk mendapatkan gambaran keamanan yang lebih komprehensif, beberapa langkah lanjutan dapat dipertimbangkan.

- Pertama, analisis sensitivitas dapat dilakukan dengan memvariasikan parameter input,

seperti densitas *kick* gas atau tingkat penurunan level lumpur, untuk memahami bagaimana perubahan kondisi mempengaruhi faktor keamanan.

- Kedua, untuk evaluasi integritas jangka panjang, disarankan untuk melengkapi analisis ini dengan model degradasi material. Jika data fluida reservoir menunjukkan adanya komponen korosif, analisis berbasis risiko yang menggabungkan laju korosi dapat memberikan prediksi umur pakai *casing* yang lebih akurat.
- Terakhir, studi di masa depan dapat menerapkan metode evaluasi probabilistik, yang tidak hanya menghitung beban maksimum tetapi juga probabilitas terjadinya skenario beban tersebut. Pendekatan ini, meskipun lebih kompleks, akan menghasilkan gambaran risiko yang lebih realistik dan dapat menjadi dasar yang lebih kuat untuk program manajemen integritas sumur (well integrity management) di lapangan "AK".

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil re-evaluasi keamanan *casing grade Q-125* pada sumur produksi "MK" dengan menggunakan metode analisis beban maksimum, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain *casing* yang digunakan pada sumur "MK", baik untuk rangkaian *surface casing* (13 5/8") maupun *production casing* (9 5/8"), terbukti aman. Seluruh nilai beban desain untuk skenario terburuk—*burst*, *collapse*, dan *tension*—berada di bawah kapasitas performa (rating) material Q-125 yang ditetapkan oleh pabrikan.
2. Analisis menunjukkan bahwa kedua rangkaian *casing* memiliki margin keamanan (safety margin) yang signifikan. Secara khusus, ketahanan terhadap beban *burst* dan *tension* sangat tinggi, sementara ketahanan terhadap beban *collapse* pada *production casing* bagian bawah, meskipun lebih ketat, masih memenuhi standar keamanan industri.
3. Terverifikasinya kekuatan dan integritas desain *casing*, sumur "MK" dinilai layak untuk

beroperasi secara aman sepanjang umur produktifnya. Risiko kegagalan struktural akibat beban operasional maksimum dapat diminimalkan, yang mendukung keberlangsungan produksi dari lapangan "AK".

4. Penelitian ini sekali lagi menegaskan bahwa metode analisis beban maksimum merupakan alat evaluasi yang efektif dan andal untuk validasi desain *casing* secara cepat. Meskipun memiliki batasan, metode ini memberikan dasar kuantitatif yang kuat untuk pengambilan keputusan rekayasa dalam operasi pemboran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Ucapan terima kasih secara khusus ditujukan kepada dosen pembimbing dan penguji dari Program Studi Teknik Perminyakan Tanri Abeng University yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penelitian ini.

Penghargaan setinggi - tingginya juga disampaikan kepada Bapak Irzal Adhinata selaku mentor di PT. Expro Indonesia atas kesempatan dan izin untuk menggunakan data teknis sumur "MK" sebagai objek utama dalam penelitian ini. Penulis juga berterima kasih kepada seluruh tim *Field Service Technician* di *Well Construction Jakarta Base* PT. Expro Indonesia atas dukungan, diskusi, dan bantuan teknis selama proses pengumpulan data.

Akhir kata, terima kasih kepada keluarga dan rekan-rekan yang telah memberikan dukungan moril hingga penelitian ini selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aboekasan, W. (2015). Perencanaan *Casing* Pada Sumur Nano-27 Lapangan Cleo Seram. *Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan Petro*, 2.
- [2] Marcel. (2011). Desain *Casing* pada sumur berarah dengan memperhitungkan friksi. Tugas Akhir, Institut Teknologi Bandung.
- [3] Rasyid, A. (2021). *Seleksi material untuk casing sumur Migas dan Geothermal*. Jakarta: Cipta Gadging Artha.
- [4] Noviandy, F. (2015). Evaluasi dan Optimasi perencanaan *casing* pada operasi pemboran sumur

- X-9, Prabumulih PT Pertamina EP. *Seminar Nasional Cendekiawan*, 326-331.
- [5] Tamsil, T. (2015). Desain Casing Sumur Produksi Selong-1 Lapangan Selong dengan Metode *Maximum load*. *Spektra*, 1(2).
- [6] Azi, A. S. (2021). *Casing Design* using the *Maximum load* Method on Offshore Development. *Timor Leste Journal of Engineering and Science*, 47-54.
- [7] Rubiandini, R. (2010). *Teknik Operasi Pemboran*. Bandung: ITB.
- [8] American Petroleum Institute. (2005). *Specification 5 Casing Tubing*,
- [9] Cayeux, E., Stokka, S., Dvergsnes, E. W., & Thorogood, J. L. (2022). Buoyancy force on a plain or perforated portion of a pipe. *SPE Journal*, 27(01), 17-38.