

**TUGAS BESAR**  
**TEKNIK RESERVOIR**

**Perkiraan Cadangan Dan Sumber Daya Probabilistik:  
Metodologi Untuk Menggabungkan Cadangan Dan Sumber Daya  
Minyak Probabilistik**



OLEH:

Vivi Meysa Putri	101321012
Mukhammad Sholikhuddin	101321020
Ahmad Fauzan	101321047
Pilia Novika Zalena	101321076

**LABORATORIUM PENGEBORAN**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI EKSPLORASI DAN PRODUKSI**  
**UNIVERSITAS PERTAMINA**  
**JAKARTA**  
**2023**

## DAFTAR ISI

COVER.....	1
DAFTAR ISI.....	2
DAFTAR GAMBAR.....	3
BAB I ABSTRAK .....	4
BAB II PENDAHULUAN .....	5
2.1 JENIS SUMBER DAYA .....	5
2.2 PRAKIRAAN PRODUKSI DAN ESTIMASI CADANGAN .....	5
2.3 KLASIFIKASI CADANGAN .....	6
2.4 AGREGASI CADANGAN .....	6
2.5 METODE PENGAMPILAN SAMPEL .....	7
2.6 PENILAIAN KORELASI .....	7
2.7 METODE ESTIMASI DISTRIBUSI CADANGAN .....	8
BAB III METODOLOGI .....	9
BAB IV PEMBAHASAN .....	13
BAB V KESIMPULAN .....	16
DAFTAR PUSTAKA .....	17

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1</b> Jenis Sumber Daya .....	5
<b>Gambar 2</b> Formula Metode Decline Curve .....	6
<b>Gambar 3</b> Distribusi Probabilitas .....	7
<b>Gambar 4</b> Flowchart Information Flow .....	9
<b>Gambar 5</b> The Purposed Methodology .....	10
<b>Gambar 6</b> Project Reserves Probability Distributions.....	14
<b>Gambar 7</b> Correlation Coefficients .....	14
<b>Gambar 8</b> Agregated Reserves .....	14
<b>Gambar 9</b> Reserves Variation Due to The Portfolio Effect .....	15
<b>Gambar 10</b> Field Reserves .....	15

# **BAB I**

## **ABSTRAK**

Industri minyak berusaha menciptakan standar internasional untuk klasifikasi dan estimasi sumber daya sejak tahun 1930-an. Pada tahun 2007, empat organisasi utama (SPE, AAPG, WPC, SPEE) merilis pedoman PRMS untuk klasifikasi dan evaluasi sumber daya minyak dan gas. Metodologi deterministik dan probabilistik digunakan dalam PRMS. Makalah ini mengusulkan metode probabilistik berbasis korelasi untuk menggabungkan cadangan minyak dan gas dari sumber daya konvensional dan nonkonvensional. Metode ini mengatasi ketidakpastian dalam penilaian teknis dan ekonomi. Tujuannya sesuai dengan PRMS dan peraturan SEC, dan menggunakan penilaian korelasi dan Simulasi Monte Carlo.

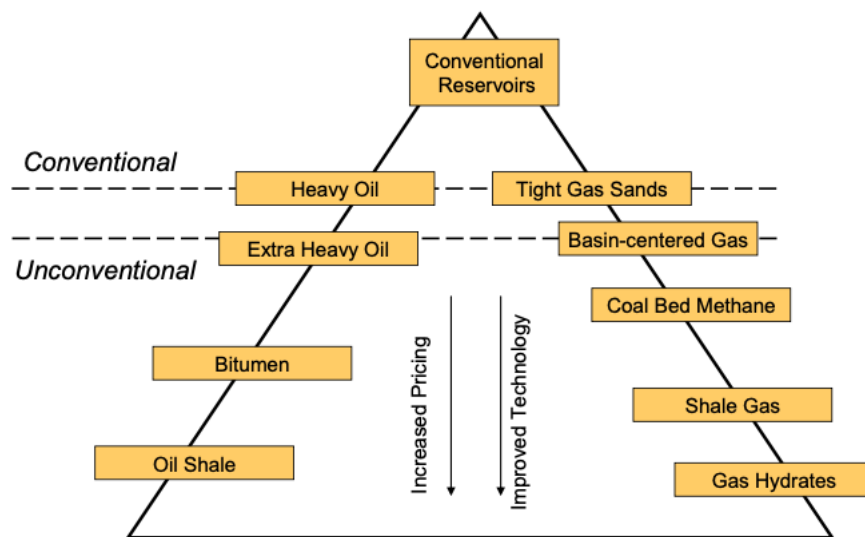
Makalah ini terdiri dari empat bagian utama. Bagian pertama adalah tinjauan literatur, yang menjelaskan definisi sumber daya konvensional dan nonkonvensional, serta klasifikasi, estimasi, dan agregasi cadangan. Bagian kedua membahas metodologi probabilistik berbasis korelasi yang diusulkan. Bagian ketiga adalah studi kasus yang menggambarkan penerapan metodologi tersebut. Bagian terakhir adalah kesimpulan utama yang mensintesis temuan dan rekomendasi.

## BAB II

### PENDAHULUAN

#### 2.1 Jenis Sumber Daya

Sumber daya konvensional sebagai akumulasi minyak bumi diskrit yang terbatas pada fitur struktur geologi dan/atau kondisi stratigrafi, di mana mekanisme perangkap didominasi oleh gaya hidrodinamik atau daya apung. Sedangkan sumber daya non konvensional didefinisikan sebagai akumulasi hidrokarbon yang menyebar di seluruh area yang luas dan umumnya tidak terpengaruh secara signifikan oleh pengaruh hidrodinamik. Akumulasi semacam itu membutuhkan teknologi ekstraksi khusus dan, dalam kasus minyak, produksi mentah mungkin memerlukan pemrosesan yang signifikan sebelum dijual.



**Gambar 1** Jenis Sumber Daya

Menurut Elliot (2008), perbedaan mendasar antara sumberdaya konvensional dan nonkonvensional terletak pada mekanisme penjebakan dan pengaruhnya terhadap mekanisme produksi.

#### 2.2 Prakiraan Produksi dan Estimasi Cadangan

Terdapat beberapa metode yang digunakan sebagai prakiraan produksi diantaranya yakni *Decline Curve* (Arps, 1945), dan *material balance*. Metode *material balance* mungkin tidak memberikan estimasi cadangan dan perkiraan produksi dengan akurasi yang memadai untuk reservoir gas nonkonvensional. Hal ini disebabkan asumsi yang diperlukan untuk penerapan metode tersebut, yaitu volume drainase yang tidak berubah dan aliran yang stabil (dominasi batas).

Metode *decline curve* (Arps, 1945) didasarkan pada penentuan tren penurunan produksi dari sejarah dan untuk memproyeksikan produksi di masa mendatang. Dengan demikian, seseorang dapat menghitung cadangan ketika batas ekonomi tercapai.

$$q = q_i \frac{1}{(1 + bD_i t)^{(1/b)}}$$

$q$ : Production rate at time  $t$

$q_i$ : Production rate at time zero

$D_i$ : Arps' initial decline rate

$b$ : Arps' hyperbolic decline constant

**Gambar 2** Formula Metode Decline Curve

Untuk  $B=0$  penurunan disebut eksponensial, untuk  $B=1$  disebut harmonik dan untuk  $0 < B < 1$  itu adalah kurva penurunan hiperbolik.

Metode analogi mampu memberikan hasil yang dapat diandalkan baik pada reservoir dan sumur konvensional maupun nonkonvensional. Kesulitannya terletak pada mengidentifikasi analogi yang akurat. Untuk sumber daya nonkonvensional, masalah ini cenderung lebih sensitif, setelah riwayat produksi untuk properti dan teknologi reservoir tertentu jarang tersedia.

### 2.3 Klasifikasi Cadangan

Menurut PRMS (2007), sejumlah minyak bumi dapat diklasifikasikan sebagai cadangan jika memenuhi empat kriteria: harus ditemukan, dapat diperoleh kembali, komersial, dan tersisa, berdasarkan proyek pengembangan yang diterapkan. Cadangan selanjutnya diklasifikasikan sebagai terbukti (1P), terbukti plus kemungkinan (2P) atau terbukti plus kemungkinan plus kemungkinan (3P), sesuai dengan tingkat kepastian yang terkait dengan perkiraan. Seperti yang dinyatakan sebelumnya, volumenya harus komersial dan oleh karena itu diperlukan analisis ekonomi.

### 2.4 Agregasi Cadangan

Agregasi adalah proses pengumpulan dan penggabungan data atau informasi dari berbagai sumber yang berbeda menjadi satu kesatuan yang lebih besar. Dalam agregasi deterministik atau probabilistik, terjadi "Efek Portofolio" yang mengurangi variasi pengembalian kombinasi aset dibandingkan dengan variasi aset individu. Semakin besar dan beragam kombinasi akumulasi, semakin

besar efek portofolio. Dalam kasus cadangan yang diwakili oleh distribusi probabilitas, misalnya dalam mempertimbangkan usaha A dan B.

$$P90_A + P90_B \leq P90_{A+B}$$

$$P50_A + P50_B \approx P50_{A+B}$$

$$P10_A + P10_B \geq P10_{A+B}$$

**Gambar 3** *Distribusi Probabilitas*

Menurut Carter dan Morales (1998), dalam metode probabilistik, penjumlahan aritmatika dapat menghasilkan cadangan terbukti (P90) yang lebih rendah dari perkiraan. Jika independensi penuh diasumsikan dan risiko akumulasi sama, maka cadangan terbukti (P90) dapat menjadi terlalu tinggi. Oleh karena itu, ketergantungan harus diperhitungkan untuk mencapai hasil yang wajar. Dalam studi mereka, dengan mempertimbangkan ketergantungan, metode probabilistik menghasilkan cadangan terbukti sekitar 9% lebih besar daripada penjumlahan deterministik.

## **2.5 Metode Pengambilan Sampel**

Metode pengambilan sampel digunakan untuk menggabungkan distribusi probabilitas cadangan. Simulasi Monte Carlo dan Latin Hypercube adalah contoh metode pengambilan sampel. Latin Hypercube Sampling memiliki keunggulan dalam menghasilkan distribusi probabilitas dengan iterasi yang lebih sedikit dibandingkan Monte Carlo Sampling. Dalam Latin Hypercube Sampling, distribusi probabilitas input dikelompokkan menjadi interval yang sama pada skala probabilitas kumulatif. Sampel acak diambil dari setiap interval distribusi input, meningkatkan efisiensi dan waktu eksekusi.

## **2.6 Penilaian Korelasi**

Proyek eksploitasi yang serupa dapat memiliki korelasi yang penting dalam memperkirakan cadangan agregat. Identifikasi korelasi ini penting untuk menghindari overestimasi atau di bawah estimasi volume agregat pada level P90 dan P10. Penentuan koefisien korelasi antar proyek dapat dilakukan melalui perbandingan langsung, perbandingan pada kriteria tertentu, binarisasi, diskritisasi, atau analisis diagram tornado. Carter dan Morales (1998) merekomendasikan

penilaian tunggal untuk faktor-faktor yang mempengaruhi korelasi, sehingga membandingkan pasangan proyek pada faktor-faktor ini daripada secara langsung.

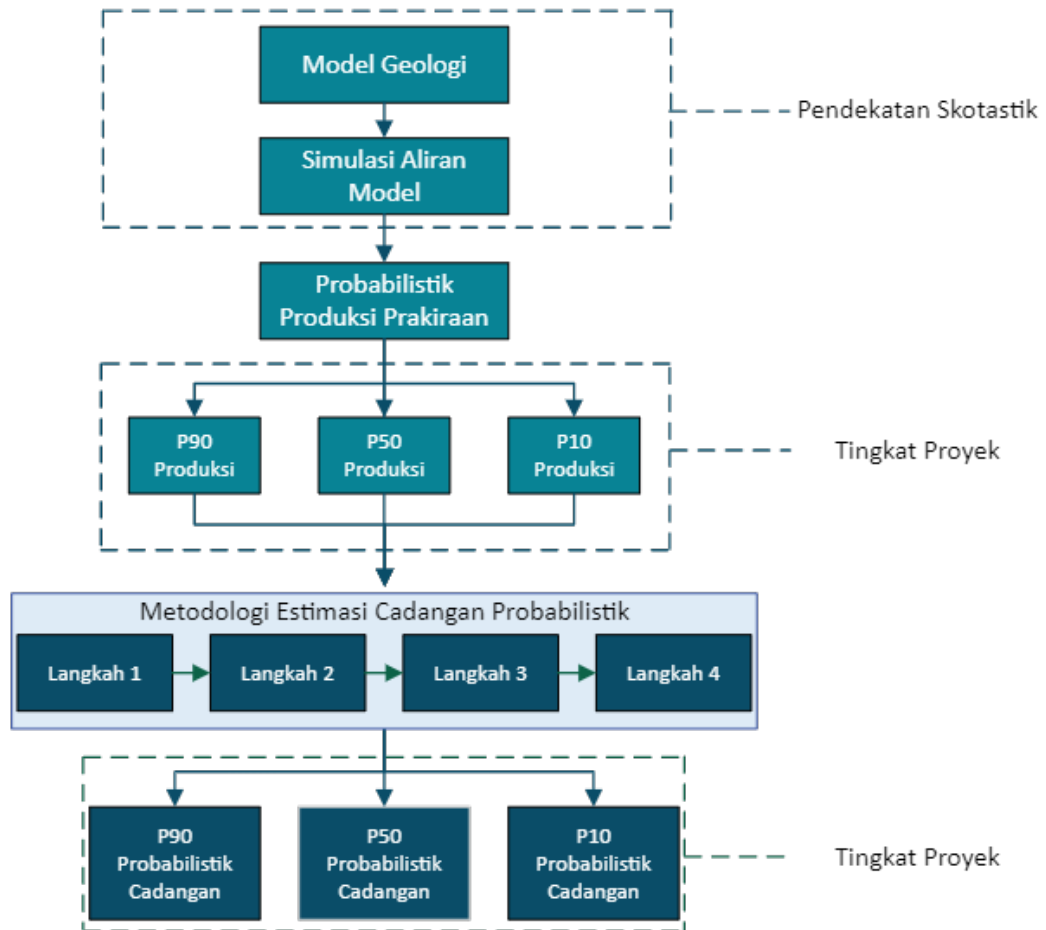
## **2.7 Metode Estimasi Distribusi Cadangan**

Dalam agregasi probabilistik, semua sumber daya lapangan dimodelkan menggunakan distribusi probabilistik. Pendekatan yang digunakan adalah metode analitik distribusi multivariat, yang menghasilkan distribusi cadangan lapangan yang normal. Namun, pada tahap awal penilaian proyek yang belum ditemukan, distribusi sumber daya tidak simetris dan metode diperlukan untuk memodelkan kemiringan distribusi. Metode ini menggunakan parameter bentuk, di mana nilai parameter nol menghasilkan distribusi normal standar, dan nilai parameter besar menghasilkan distribusi setengah normal dengan pemotongan di bawah distribusi normal standar. Pendekatan lain adalah memodelkan kurva produksi cadangan dengan distribusi lognormal. Proyek baru cenderung memiliki distribusi lognormal yang miring ke kanan, menunjukkan volume P90 yang relatif kecil dibandingkan dengan P50 dan P10. Dalam memperkirakan volume cadangan, ketidakpastian juga harus terdistribusi secara lognormal.

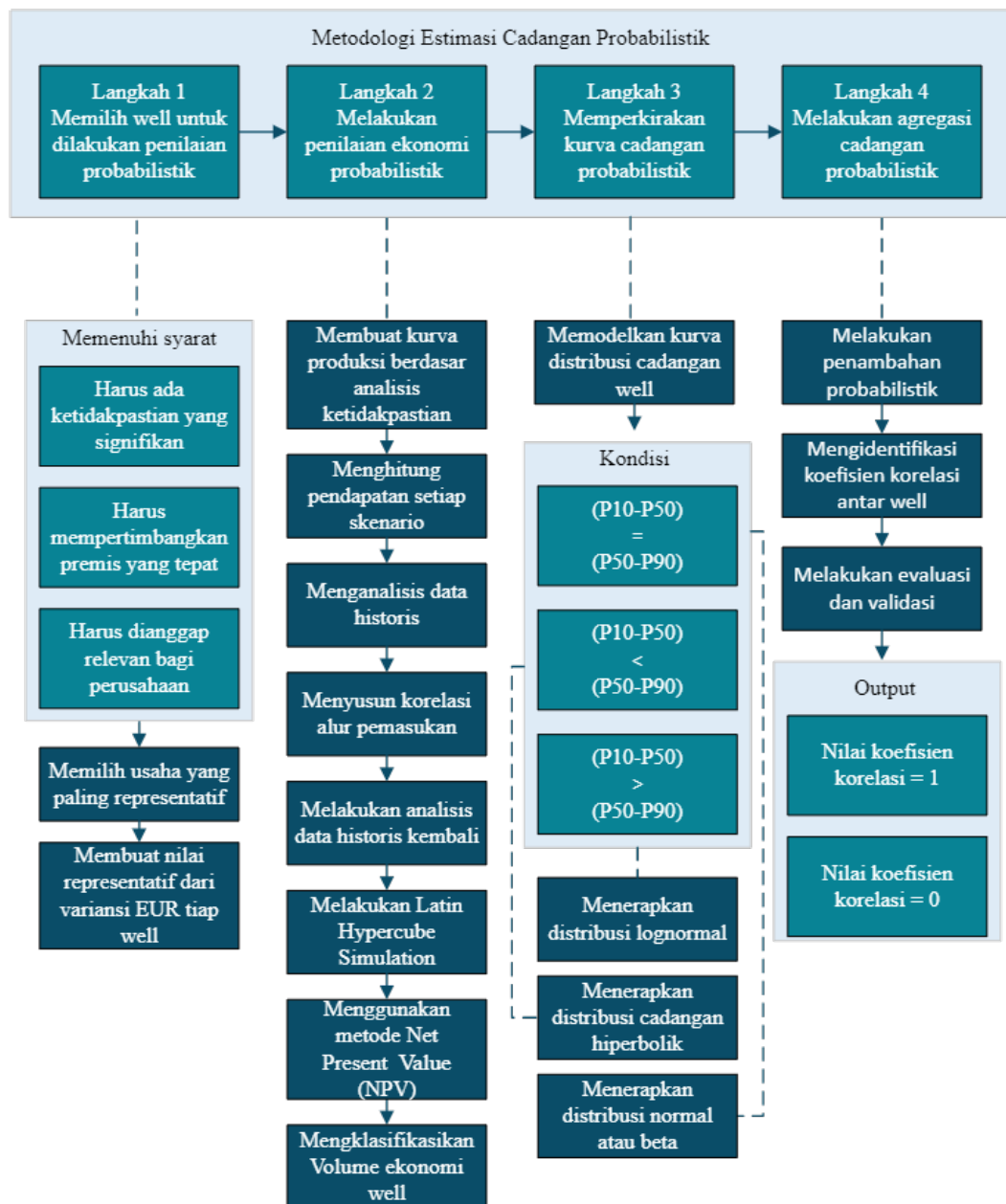


### BAB III

### METODOLOGI



**Gambar 4** *Flowchart Information Flow*



**Gambar 5** *The Purposed Methodology*

Metodologi berfokus dalam memperkirakan distribusi dan menggabungkan kurva probabilistik cadangan well. Sedangkan menentukan model geologi, hingga memperkirakan probabilistik produksi hanyalah input dari penentuan estimasi cadangan probabilistik.

### **Langkah 1 – Memilih well untuk dilakukan penilaian probabilistic**

Hal pertama yang perlu dilakukan yakni memastikan suatu well telah memenuhi syarat dalam penilaian probabilistic. Harus ada ketidakpastian secara signifikan terkait parameter ge engineering dan faktor pemulihan minyak dan gas, kemudian prakiraan produksi harus mempertimbangkan premis yang tepat

mengenai sumber daya konvensional dan nonkonvensional, dan juga well tersebut harus dianggap relevan bagi perusahaan. Setelah menentukan well, dilakukan **penerapan prinsip pareto untuk memilih usaha yang paling representatif**. Kemudian membuat nilai representatif dari variansi sampel EUR tiap well yang dikelompokkan menjadi skenario estimasi rendah, skenario estimasi tinggi, dan skenario yang paling memungkinkan. Sehingga pada langkah pertama **didapatkan daftar well yang memenuhi syarat dalam penilaian probabilistik**

### **Langkah 2 – Melakukan penilaian ekonomi probabilistik**

Membuat kurva produksi berdasarkan analisis ketidakpastian yang menghasilkan kurva P90, P50, dan P10. Kemudian menghitung pendapatan setiap skenario dengan mengalikan kurva dengan harga hidrokarbon. Kemudian analisis data historis perlu dilakukan sebanyak dua kali yakni sebelum dan setelah menentukan pemasukan kas. Setelah input dan korelasinya dimodelkan, dilakukan Latin Hypercube Simulation untuk mendapatkan kurva kas tahunan. Selain itu, batas ekonomi untuk setiap skenario produksi ditentukan melalui analisis kurva dengan metode Net Present Value (NPV). Diakhir dilakukan **pengklasifikasian volume ekonomi well sebagai cadangan P90, P50, P10**.

### **Langkah 3 – Memperkirakan Cadangan Probabilistik**

Setelah menghitung cadangan untuk setiap skenario, selanjutnya memperkirakan kurva distribusi cadangan well. Variasi model distribusi yang tergantung pada perbedaan antara persentil kumulatif, membagi 3 kondisi yang berbeda. **Pada kondisi 1, distribusi menunjukkan kemiringan positif, sehingga untuk kondisi ini dapat menerapkan model distribusi lognormal. Pada kondisi 2, distribusi menunjukkan kecondongan negatif** dikarenakan premis dan konsep rekayasa reservoir digantikan oleh pengaruh ekonomi dan pembatasan lainnya, **untuk kondisi ini dapat menerapkan distribusi cadangan hiperbolik. Pada kondisi 3, distribusi yang dihasilkan harus simetris, menerapkan distribusi umum normal dan beta**. Dalam hal ini distribusi normal lebih konservatif, sehingga pada well beresiko rendah dapat menerapkan distribusi beta saja.

#### **Langkah 4 – Melakukan agregasi Cadangan Probabilistik**

Untuk menghitung cadangan kita dapat melakukan agregasi probabilistik. Pada langkah ini, metode pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan model Latin Hypercube Simulation karena memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan Monte Carlo. Untuk menghindari estimasi prove reserve yang terlalu tinggi, koefisien korelasi antar proyek harus diidentifikasi dan dikuantifikasi. Pada akhirnya metodologi ini menerima koefisien dalam interval  $[0,1]$  yang mana nilai 1 berarti korelasi total yang disebut agregasi deterministik sedangkan nilai 0 berarti terjadi independensi penuh diantara well

## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN**

#### **Ilustrasi Monte Carlo Simulation software akan menunjukkan kurva data volume cadangan persetiap bagian produksinya**

Studi kasus ini berfokus pada Langkah ketiga dan metodologi keempat, yang dianggap sebagai berkontribusi besar dari studi ini. Untuk mengilustrasikan prosedur, contoh akhir akan dimodelkan dalam perangkat spreadsheet software bersama dengan Monte Carlo Simulation software. Ini terdiri dari agregasi probabilistik yang berjumlah sepuluh proyek ditambah dengan dua puluh proyek deterministik lainnya. Semua dari tiga puluh proyek milik satu bidang eksploitasi dan tercatat bahwa keterwakilan dan kompleksitas nilai telah dipertahankan sepenuhnya, meskipun mereka telah diadaptasi untuk contoh. Insinyur reservoir telah membangun tiga skenario produksi (low, best, and high estimate) untuk proyek deterministik dan kurva produksi P90, P50, dan P10 untuk proyek probabilistik. Proyek deterministik telah dinilai secara ekonomis tanpa input stokastik. Volume cadangan 1P, 2P, dan 3P proyek telah ditentukan dan kontribusinya akan ditambahkan pada akhir proses.

#### **Kurva Latin Hypercube Simulation menilai Batasan ekonomi dengan pengamatan nilai kurva arus kas**

Semua proyek probabilistik telah dinilai secara ekonomi sesuai dengan metodologi yang diusulkan, yaitu probabilitas distribusi input dan koefisien korelasinya telah ditentukan oleh sekelompok ahli. Kemudian, Latin Hypercube Simulation telah dilakukan dan, dengan menilai kurva arus kas, batasan ekonomi telah ditetapkan. Dengan demikian, volume cadangan P90, P50, dan P10 untuk setiap proyek telah ditentukan. Sekarang, berfokus pada langkah ketiga dan metodologi keempat, distribusi cadangan untuk setiap proyek akan dimodelkan, dikorelasikan, dan digabungkan. Usaha telah dikategorikan menurut prosedur estimasi distribusi yang dijelaskan sebelumnya dan hasilnya tercantum dalam Tabel 2.

**Table 2: Projects' Reserves Probability Distributions ( $10^6$  boe)**

Project	P90	P50	P10	Category (Condition)	Distribution
A	4.56	6.02	10.02	1	Lognormal
B	5.52	9.36	11.09	2	Beta
C	2.78	4.87	7.94	1	Lognormal
D	9.99	11.40	15.52	1	Lognormal
E	3.42	6.02	6.87	2	HRD
F	3.74	5.84	9.05	1	Lognormal
G	3.59	5.32	9.26	1	Lognormal
H	2.84	4.80	5.28	2	HRD
I	8.58	11.07	13.06	2	Beta
J	2.97	4.59	8.02	1	Lognormal

**Gambar 6** *Project Reserves Probability Distributions*

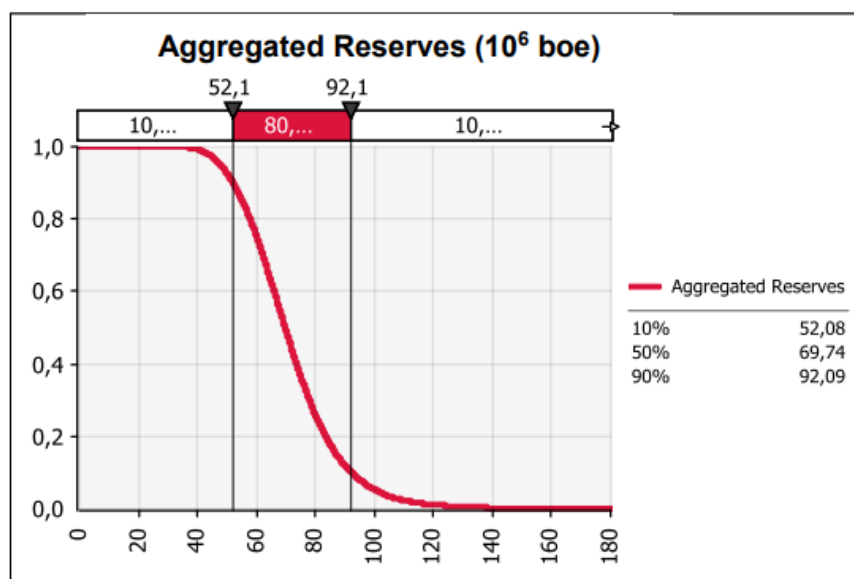
Tabel 2 menjabarkan tentang informasi yang diperlukan dalam penyusunan kurva cadangan untuk setiap proyek probabilistik. Dan diberi hasil ahir dari dekomposisi hearkis dalam pengembangan reservoir pada Tabel 3

**Table 3: Correlation coefficients**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1									
B	0.65	1								
C	0.82	0.64	1							
D	0.55	0.50	0.55	1						
E	0.61	0.63	0.63	0.67	1					
F	0.63	0.62	0.66	0.74	0.61	1				
G	0.55	0.65	0.71	0.67	0.52	0.60	1			
H	0.64	0.64	0.65	0.66	0.67	0.62	0.73	1		
I	0.57	0.63	0.67	0.68	0.64	0.59	0.56	0.65	1	
J	0.58	0.69	0.69	0.72	0.63	0.59	0.51	0.62	0.71	1

**Gambar 7** *Correlation Coefficients*

Terahir, Latin Hypercube Simulation ditunjukkan pada Gambar 4

**Figure 4: Aggregated Reserves Curve****Gambar 8** *Agregated Reserves*

Penjumlahan deterministik cadangan terbukti yang disajikan pada Tabel 2 adalah 47,99 106boe. Sedangkan untuk pendekatan probabilistik, cadangan terbukti (P90) adalah 52,08 106boe. Seperti yang diharapkan, **pendekatan deterministik mengecilkan cadangan** terbukti, setelah sesuai dengan tingkat kepercayaan 95% dari penambahan probabilistik, yaitu mewakili cadangan P95. Cadangan terbukti hasil penjumlahan probabilistik lebih besar 8,52% dari hasil penjumlahan aritmetika. Perkiraan yang terlalu tinggi dapat terjadi jika korelasi antar proyek tidak teridentifikasi. Untuk mengilustrasikan situasi ini, model yang sama yang disajikan dalam studi kasus telah dilakukan dengan tidak mempertimbangkan koefisien korelasi pada Tabel 3, yaitu proyek-proyek tersebut telah dianggap independen sepenuhnya. Cadangan terbukti yang dihasilkan adalah 63,14 106boe, mewakili keuntungan 31,57% atas penjumlahan deterministik, yang jelas merupakan perkiraan yang terlalu tinggi. Efek portofolio adalah hasil dari penambahan probabilistik dan perlu dicatat bahwa volume belum dibuat, setelah P90, P50, dan P10 hanya digeser ke arah rata-rata kurva. Tabel 4 menunjukkan variasi absolut pada setiap persentil kumulatif.

**Table 4: Reserves Variation due to the Portfolio Effect (10<sup>6</sup> boe)**

Reserves Volumes	Probabilistic Summation	Deterministic Summation	Variation
P90	52.08	47.99	4.09
P50	69.74	69.29	0.45
P10	92.09	96.11	-4.02
Total			0.52

**Gambar 9** *Reserves Variation Due to The Portfolio Effect*

Tabel 5 akan menunjukkan bahwa perhitungan cadangan untuk seluruh lapangan harus menambahkan kontribusi proyek deterministik ke cadangan probabilistic

**Table 5: Field Reserves (10<sup>6</sup> boe)**

Reserves Volumes	Probabilistic Projects	Deterministic Projects	Field Reserves
Proved	52.08	24.56	76.64
Proved plus Probable	69.74	43.18	112.92
Total	92.09	76.45	168.54

**Gambar 10** *Field Reserves*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

Makalah ini menyajikan metodologi praktis dan terverifikasi untuk mengestimasi cadangan secara probabilistik. Pendekatan ini memungkinkan penilaian yang lebih akurat terhadap cadangan terbukti (P90) setelah dilakukan penjumlahan aritmatika yang mengurangi volume. Studi kasus menunjukkan bahwa pendekatan deterministik menghasilkan estimasi yang terlalu rendah (P95). Metodologi ini sesuai dengan pedoman PRMS (2007) dan dapat digunakan dengan efektif dalam praktik industri. Metodologi ini menekankan pentingnya definisi dan kuantifikasi korelasi antara proyek-proyek yang berbeda. Jika proyek-proyek dianggap sepenuhnya independen, akan terjadi overestimasi cadangan terbukti dan underestimasi total cadangan. Metodologi ini dapat diterapkan baik pada sumber daya konvensional maupun nonkonvensional, asalkan prakiraan produksi dianalisis dengan ketidakpastian, premis yang tepat dipertimbangkan, dan metode peramalan yang sesuai digunakan.

Metodologi ini berhasil diuji pada sepuluh proyek probabilistik dan dua puluh proyek deterministik lainnya. Dalam studi kasus yang dibahas, penilaian cadangan terbukti berdasarkan metodologi probabilistik berbasis korelasi lebih besar sebesar 8,52% dibandingkan dengan penilaian deterministik, sesuai dengan temuan studi sebelumnya. Pentingnya penilaian dependensi yang sistematis juga terbukti, karena agregasi independen menghasilkan overestimasi sebesar 31,57% dalam cadangan terbukti dibandingkan dengan penilaian deterministik. Sebuah sistem telah dikembangkan untuk mendukung perhitungan metodologi ini, dan hasilnya sedang diuji dan dibandingkan dengan metode deterministik di beberapa bidang.



## **DAFTAR PUSTAKA**

Galvao, M.. , Hastenreiter, L.. , Molina, J.. , Quadros, A.. , Montechiari, J.. , and S.. Hamacher. "Probabilistic Reserves and Resources Estimation: A Methodology for Aggregating Probabilistic Petroleum Reserves and Resources." Paper presented at the SPE/EAGE European Unconventional Resources Conference and Exhibition, Vienna, Austria, March 2012