

**PENENTUAN URUTAN METODE EOR DENGAN
MENGUNAKAN *K-MEANS CLUSTERING* SEBAGAI
RENCANA PENGEMBANGAN LAPANGAN X**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

RIZKI TRIWULANDA

NPM 153210216



PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2020

**PENENTUAN URUTAN METODE EOR DENGAN
MENGUNAKAN *K-MEANS CLUSTERING* SEBAGAI
RENCANA PENGEMBANGAN LAPANGAN X**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Melengkapi Syarat Dalam Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Oleh

RIZKI TRIWULANDA

NPM 153210216



PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2020

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini disusun oleh :

Nama : Rizki Triwulanda

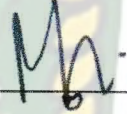
NPM : 153210216


Program Studi : Teknik Perminyakan

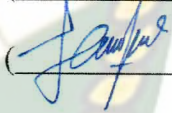
Judul Tugas akhir : Penentuan urutan metode EOR dengan menggunakan *k-means clustering* sebagai rencana pengembangan lapangan X.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Eng. Muslim, M.T. ()

Penguji I : Fiki Hidayat, S.T, M.Eng ()

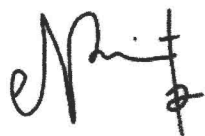
Penguji II : Idham Khalid, S.T, M.T. ()

Diterapkan di : Pekanbaru

Tanggal : 23 Desember 2020

Disahkan Oleh :

**KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK PERMINYAKAN**



NOVIA RITA, S.T., M.T

**DOSEN PEMBIMBING
TUGAS AKHIR**



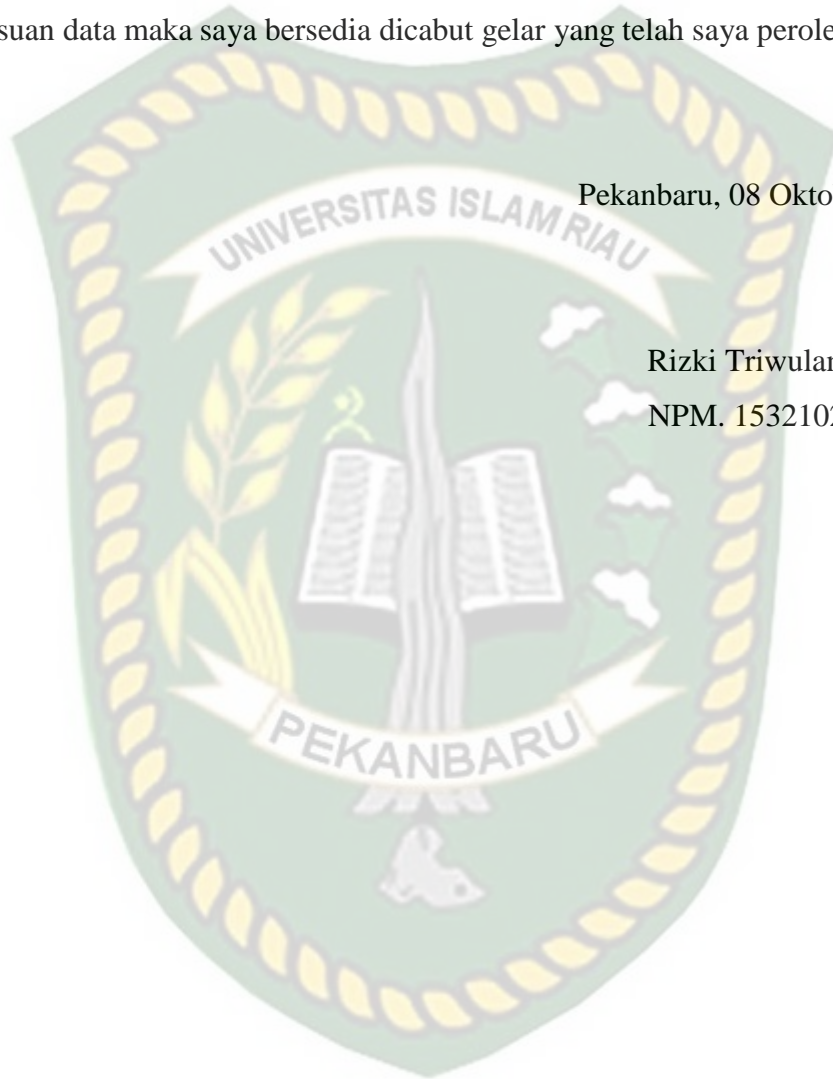
Dr. ENG. MUSLIM, M.T

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya sendiri dan semua sumber yang tercantum didalamnya baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar sesuai ketentuan. Jika terdapat unsur penipuan atau pemalsuan data maka saya bersedia dicabut gelar yang telah saya peroleh

Pekanbaru, 08 Oktober 2020

Rizki Triwulanda
NPM. 153210216



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Allah SWT atas rahmat dan limpahan ilmu dari-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Islam Riau. Disini saya menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir. Oleh sebab itu saya ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Muslim, M.T selaku dekan Fakultas Teknik sekaligus dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberi masukannya.
2. Ibu Novriati, S.T, M.T selaku pembimbing akademik yang telah memberikan arahan, nasihat serta penyemangat selama menjalani perkuliahan di Teknik Perminyakan.
3. Ketua dan sekretaris Program Studi serta dosen-dosen yang banyak membantu terkait perkuliahan, ilmu pengetahuan dan dukungan yang telah diberikan.
4. Kedua orang tua, Papa, Mama, Abang, Kakak, dan Adik tersayang Ghina Raudhatul Jannah yang selalu memberikan dukungan material, dukungan moral dan doa yang senantiasa mengiringi.
5. Sahabat terbaik, Nurvenny Helina, S.T dan Putri Diofita W, S.T beserta teman-teman endclass 2015 yang memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Teriring doa saya, semoga Allah memberikan balasan atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Pekanbaru, 08 Oktober 2020

Rizki Triwulanda

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GRAFIK	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR SINGKATAN	x
DAFTAR SIMBOL	xi
ABSTRAK	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	1
1.3 Manfaat Penelitian.....	1
1.4 Batasan Masalah	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	2
2.1 <i>Screening Criteria EOR</i>	2
2.2 <i>Data Mining</i>	4
2.3 <i>Clustering</i>	4
2.4 <i>K-Means Clustering</i>	5
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	8
3.1 Uraian Metode Penelitian	8
3.2 Prosedur Penelitian.....	9
3.3 <i>Flowchart</i>	10

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	10
4.1 Proses Pengolahan Data Menggunakan <i>K-means Clustering</i>	10
4.2 Sifat Fisik Batuan dan Fluida pada Lapangan X	27
4.3 <i>Screening Criteria</i> dengan Menggunakan Tabel Hasil <i>Clustering</i>	29
4.4 <i>Screening Criteria</i> dengan Tabel Taber, Martin, Seright.....	31
4.5 Pembahasan	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	34
5.1 Kesimpulan.....	34
5.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN.....	38



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Reservoir Lapangan di Wyoming	3
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	8
Tabel 4.1 Data Permeabilitas <i>Steam Injection</i>	11
Tabel 4.2 Hasil <i>Clustering</i> Iterasi ke 1	12
Tabel 4.3 Hasil <i>Clustering</i> iterasi ke 2	14
Tabel 4.4 Hasil <i>Clustering</i> Iterasi ke 3	15
Tabel 4.5 <i>Cluster</i> Hasil <i>Clustering</i>	16
Tabel 4.6 Tabel <i>Screening Criteria</i> Baru Hasil <i>K-Means Clustering</i>	24
Tabel 4.7 Data Lapangan <i>Slaughter Sundown</i> , Texas.....	24
Tabel 4.8 Hasil <i>screening</i> data lapangan <i>Slaughter Sundown</i> , Texas dengan tabel <i>screening k-means clustering</i>	25
Tabel 4.9 <i>Screening Steam injection</i> tabel <i>screening k-means clustering</i>	26
Tabel 4.10 <i>Screening Steam injection</i> tabel <i>screening Taber, Martin, Seright</i>	27
Tabel 4.11 Hasil <i>screening</i> dengan menggunakan 2 tabel <i>screening</i> EOR	28
Tabel 4.12 Data Lapangan X.....	28
Tabel 4.13 <i>Screening Criteria</i> Menggunakan Tabel <i>Screening</i> Baru	30
Tabel 4.14 Urutan Metode EOR Berdasarkan Hasil <i>Screening</i>	31
Tabel 4.15 Hasil <i>screening</i> menggunakan tabel Taber, Martin, Seright	33
Tabel 4.16 Urutan metode EOR menggunakan tabel Taber, Martin, Seright	33

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Hasil <i>clustering</i> parameter permeabilitas <i>steam injection</i>	17
Grafik 4.2 Hasil <i>clustering</i> parameter <i>steam injection</i>	19
Grafik 4.3 Hasil <i>clustering</i> parameter <i>hot water</i>	19
Grafik 4.4 Hasil <i>clustering</i> parameter <i>combustion</i>	20
Grafik 4.5 Hasil <i>clustering</i> parameter <i>polymer</i>	20
Grafik 4.6 Hasil <i>clustering</i> parameter <i>CO2 miscible</i>	21
Grafik 4.7 Hasil <i>clustering</i> parameter <i>CO2 immiscible</i>	21



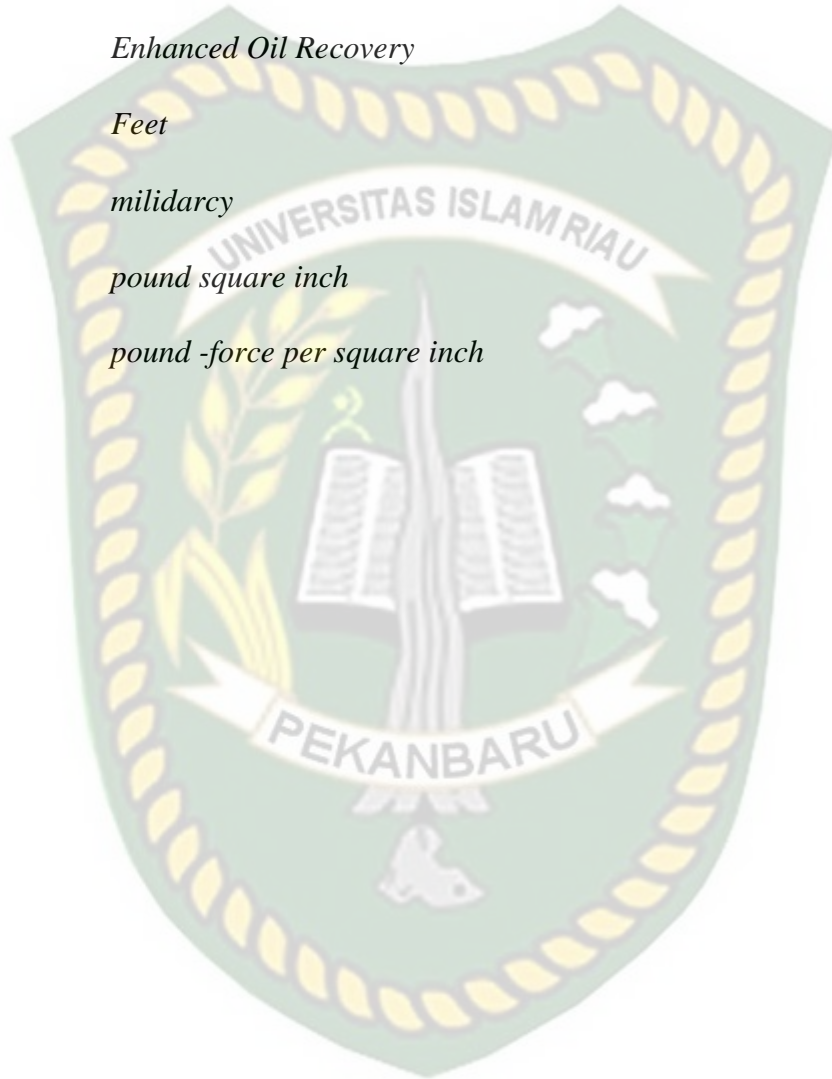
DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I Hasil <i>Clustering</i> Parameter Injeksi CO2 Miscible.....	39
LAMPIRAN II Hasil <i>Clustering</i> Parameter Injeksi CO2 Immiscible	42
LAMPIRAN III Hasil <i>Clustering</i> Parameter Injeksi Steam.....	45
LAMPIRAN IV Hasil <i>Clustering</i> Parameter Injeksi Polymer.....	48
LAMPIRAN V Hasil <i>Clustering</i> Parameter Injeksi Combustion	51
LAMPIRAN VI Hasil <i>Clustering</i> Parameter Injeksi Hot Water	54



DAFTAR SINGKATAN

API	<i>American Petroleum Institue</i>
Cp	<i>Centipoise</i>
EOR	<i>Enhanced Oil Recovery</i>
Ft	<i>Feet</i>
Md	<i>mildarcy</i>
Psi	<i>pound square inch</i>
Psig	<i>pound -force per square inch</i>



DAFTAR SIMBOL

%	Persen
μ	Viskositas
\emptyset	Porositas
$^{\circ}\text{F}$	Skala fahrenheit
k	Permeabilitas
d	Depth, ft
So	Saturasi minyak



**PENENTUAN URUTAN METODE EOR DENGAN
MENGUNAKAN *K-MEANS CLUSTERING* SEBAGAI
RENCANA PENGEMBANGAN LAPANGAN X**

RIZKI TRIWULANDA

153210216

ABSTRAK

Proses untuk dapat memproduksi minyak setelah energi alamiah *reservoir* berkurang maka diperlukan teknologi pengurusan minyak tahap lanjut (*enhanced oil recovery*). Pemilihan salah satu teknologi EOR tersebut yang akan diimplementasikan di suatu *reservoir* diperlukan pekerjaan awal yang disebut *screening* EOR dengan menggunakan standar evaluasi yang normal digunakan di kalangan industri minyak. Panduan *screening* berguna untuk memilih metode injeksi EOR yang cocok untuk suatu reservoir, dimana membutuhkan suatu ketelitian dan ketepatan dalam merancang sebuah metode pemulihan reservoir yang bermasalah.

Maka dari itu dalam penelitian ini, peneliti ingin melakukan *screening criteria* EOR untuk suatu rencana pengembangan lapangan X yang mengalami penurunan produksi. *Screening criteria* dilakukan secara manual dengan menggunakan suatu tabel *screening criteria* baru yang disusun dengan menggunakan *k-means clustering*, sehingga akan didapat urutan EOR yang bisa diterapkan pada lapangan X beserta rekomendasi metode EOR yang paling tepat untuk pengembangan lapangan tersebut. Hasil yang didapat dalam penelitian ini yaitu urutan metode EOR yang cocok digunakan untuk sumur X adalah *polymer flooding, steam injection, hot water, combustion, hydrocarbon, CO₂ immiscible injection*. Metode EOR yang paling direkomendasikan untuk lapangan ini yaitu *polymer flooding*.

Kata Kunci: *Enhanced Oil Recovery (EOR), clustering, k-means clustering, reservoir, screening criteria*

***DETERMINATION OF EOR METHOD USE K-MEANS
CLUSTERING FOR DEVELOPMENT PLAN OF FIELD X***

RIZKI TRIWULANDA

153210216

ABSTRACT

The process to be able to produce oil after the natural energy of the reservoir is reduced requires an advanced oil recovery technology (Enhanced Oil Recovery). The selection of one of the EOR technologies that will be implemented in a reservoir requires initial work called EOR screening using evaluation standards that are normally used in the oil industry. The screening guide is useful for choosing the EOR injection method that is suitable for a reservoir, which requires some accuracy and accuracy in designing a problematic reservoir recovery method.

Therefore in this study, researchers wanted to screen the EOR criteria for a plan to develop field X that had decreased production. Screening criteria is done manually by using a new screening criteria table compiled using k-means clustering, so that an EOR sequence can be obtained that can be applied to field X along with recommendations for the most appropriate EOR method for field development. The results obtained in this study are the sequence of EOR methods suitable for well X are polymer flooding, steam injection, hot water, combustion, hydrocarbons, CO₂ immiscible injection. The most recommended EOR method for this field is polymer flooding.

Keywords : Enhanced Oil Recovery (EOR), clustering, k-means clustering, reservoir, screening criteria

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laju produksi minyak akan menurun seiring waktu karena berkurangnya tekanan reservoir dan jumlah cadangan minyak. Pada tahap awal pemulihan, beberapa sumur minyak menggunakan teknologi artificial lift, namun teknologi ini sudah tidak optimal lagi dalam proses produksi minyak ke permukaan (Erfando, Rita, & Ramadhan, 2019). Produksi minyak bumi melalui tahapan *primary* dan *secondary recovery* masih menyisakan jumlah minyak yang sangat banyak di dalam *reservoir*. Rata-rata minyak yang tertinggal di dalam *reservoir* di lapangan minyak di Indonesia setelah kedua tahapan tersebut sebesar 60-70% (M. Abdurrahman, 2017).

Proses untuk dapat memproduksi minyak setelah energi alamiah *reservoir* berkurang maka diperlukan teknologi pengurusan minyak tahap lanjut (*Enhanced Oil Recovery*). Pemilihan salah satu teknologi EOR tersebut yang akan diimplementasikan di suatu *reservoir* diperlukan pekerjaan awal yang disebut *screening* EOR dengan menggunakan standar evaluasi yang normal digunakan di kalangan industri minyak (Dedy Kristanto, 2017).

Screening criteria adalah alat yang berguna untuk memilih metode EOR yang cocok untuk suatu *reservoir* (Almagrbi et al., 2017). *Screening criteria* dibutuhkan untuk dapat menentukan metode EOR apa yang cocok digunakan di suatu lapangan migas yang mengalami penurunan produksi. Selama 20 tahun terakhir banyak peneliti telah mengembangkan dan menerbitkan *screening criteria* sebagai teknik pemilihan metode EOR (Alvarado et al., 2002). Salah satu contoh *screening criteria* yang umum digunakan yaitu tabel *screening* yang disusun oleh Taber dan Martin. *Screening criteria* ini berfungsi sebagai langkah pertama untuk mengevaluasi potensi Teknik EOR pada kandidat *reservoir* produktif yang ingin dikembangkan (Saleh, Wei, & Bai, 2014).

Penelitian ini, peneliti akan membuat *screening criteria* metode EOR baru dengan menggunakan salah satu teknik *data mining* yaitu *clustering*. *Clustering* merupakan suatu metode pengelompokan data ke dalam *cluster* sehingga dalam

cluster tersebut terdapat suatu data semirip mungkin dan berbeda dengan objek pada cluster lainnya. Teknik *clustering* merupakan suatu teknik *data mining* yang banyak dilakukan pada masa kini.

Peneliti akan menggunakan tabel *data clustering* yang disusun berdasarkan kumpulan data parameter yang berpengaruh terhadap lapangan-lapangan yang telah melakukan injeksi EOR di beberapa lapangan minyak. *Data clustering* akan disusun dengan metode *k-means clustering*. *K-means clustering* merupakan salah satu metode *cluster* non hirarki yang akan mempartisi objek yang ada kedalam satu atau lebih *cluster* atau kelompok objek berdasarkan karakteristiknya. *K-means clustering* merupakan kemampuan mengelompokkan data yang paling efektif dan sederhana.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menentukan urutan metode EOR pada lapangan X dengan menggunakan *Data Clustering*.
2. Memberikan rekomendasi metode EOR yang paling tepat digunakan pada lapangan X.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini agar dapat memberikan tambahan opsional pada metode *screening criteria* EOR sehingga dapat menjadi pilihan dalam menentukan metode EOR apa yang akan digunakan pada suatu lapangan yang mengalami penurunan produksi dan akan dilakukan pengembangan.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak keluar dari tujuan yang diharapkan, maka penelitian ini hanya membatasi mengenai beberapa hal sebagai berikut:

1. Tidak memperhitungkan keekonomian dari metode EOR
2. Metode pengklasteran data hanya berfokus pada *k-means clustering*.
3. Pengklasteran dilakukan hanya untuk beberapa parameter yang berpengaruh pada injeksi EOR.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Screening Criteria* EOR

Metode EOR telah banyak diterapkan sejak beberapa waktu lalu sebagai upaya peningkatan produksi minyak. Beberapa perusahaan minyak telah mencoba meningkatkan produksi minyak dengan menggunakan pemulihan sekunder dan enhanced oil recovery (EOR) (Thomas, 2008). Upaya lain untuk meningkatkan estimasi produksi dan cadangan adalah mengoptimalkan produksi untuk aspek jangka pendek dan menerapkan EOR menggunakan injeksi uap, kimia, gas, dan mikroba untuk penggunaan jangka panjang (Bae, Permadi, Inst, & Gunadi, 2013).

Panduan *screening* berguna untuk memilih metode injeksi EOR yang cocok untuk suatu reservoir, dimana membutuhkan suatu ketelitian dan ketepatan dalam merancang sebuah metode pemulihan reservoir yang bermasalah. *Screening* EOR telah berkembang selama bertahun – tahun hingga menjadi lebih baik berkat semakin banyaknya pengalaman dan studi simulasi laboratorium serta numerik. Reservoir minyak dan gas menunjukkan sistem yang rumit dengan tingkat ketidakpastian yang tinggi, dimulai dengan definisi parameter penting, hingga kualitas dan ketersediaan data. *Screening* untuk menentukan metode EOR yang berlaku dibawah kondisi reservoir penting dilakukan pada tahap awal sehingga mungkin untuk dilakukan rencana pengembangan (Alvarado et al., 2002).

Peningkatan cadangan yang dihasilkan oleh penemuan-penemuan baru telah menurun selama beberapa dekade terakhir. Oleh karena itu, peningkatan faktor pemulihan pada *mature fields* dibawah produksi primer dan sekunder akan sangat penting untuk memenuhi permintaan peningkatan energi ditahun-tahun mendatang (Alvarado & Manrique, 2010). *Screening criteria* dibutuhkan untuk dapat menentukan metode EOR yang cocok digunakan di suatu lapangan migas yang mengalami penurunan produksi. Pada tugas akhir ini peneliti menggunakan metode *screening* secara manual dengan menggunakan tabel *data clustering* yang disusun berdasarkan kumpulan data parameter yang berpengaruh terhadap lapangan-lapangan yang telah melakukan injeksi EOR di dunia. Beberapa *screening* yang pernah dilakukan sebelumnya seperti tabel *Taber, Martin, Seright* sudah pernah dilakukan dilapangan *Wyoming*.

Disuatu lapangan di Wyoming, USA akan dilakukan *screening criteria*, data-data yang diperlukan tersedia di tabel 2.1 kecuali komposisi minyak. Data – data tersebut dicocokkan dengan data masing-masing metode EOR yang terdapat di tabel *screening criteria* Taber, Martin, Seright. Hasil *screening* menunjukkan lapangan tersebut memiliki tingkat keberhasilan terbesar jika dilakukan injeksi CO₂ dibandingkan metode yang lain yaitu sebesar 96.42 % (Alamsah, Santoso, & Swadesi, 2007).

Tabel 2.1 Data Reservoir Lapangan di Wyoming

<i>Reservoir properties</i>	<i>Field data</i>
<i>Oil gravity (°API)</i>	43
<i>Oil viscosity (cp)</i>	0.85
<i>Oil composition</i>	<i>No data available</i>
<i>Oil saturation (%)</i>	54
<i>Formation type</i>	<i>Sandstone</i>
<i>Thickness (ft)</i>	25
<i>Permeability (mD)</i>	30
<i>Depth (ft)</i>	4.800
<i>Temperature (°F)</i>	120

Dalam tugas akhir ini peneliti akan mengumpulkan beberapa data *screening criteria* metode EOR yang telah digunakan di beberapa lapangan minyak dengan melihat parameter-parameter yang berpengaruh di setiap penggunaan metode EOR tersebut. Dari data dan parameter yang telah dikumpulkan, kemudian akan dibuat *screening criteria* EOR baru untuk menentukan rekomendasi metode EOR yang akan digunakan pada suatu lapangan minyak yang mengalami penurunan produksi.

Screening ini dilakukan dengan cara mencocokkan data batuan dan fluida dengan nilai yang ada pada tabel *screening criteria*, bila nilai data masuk kedalam rentang nilai *screening* maka data tersebut dianggap memenuhi kriteria dan bila nilai data tidak masuk kedalam rentang nilai *screening* maka data tersebut dianggap tidak memenuhi kriteria. Hasil akhirnya bisa didapat dengan mengkalkulasikan berapa jumlah data yang memenuhi dan tidak memenuhi kriteria untuk dapat dijadikan nilai persentase.

2.2 *Data Mining*

Data mining dapat diterapkan untuk menggali nilai tambah dari suatu kumpulan data berupa pengetahuan yang selama ini tidak diketahui secara manual. Secara sederhana, *data mining* dapat diartikan sebagai proses mengekstrak atau menggali *knowledge* yang ada pada sekumpulan data. Informasi dan *knowledge* yang didapat tersebut dapat digunakan pada banyak bidang, seperti manajemen bisnis, pendidikan, kesehatan dan sebagainya (Al-Mayan, Winkler, Kamal, AlMahrooqi, & AlMaraghi, 2016).

Menurut Tacbir, *data mining* adalah proses yang menggunakan teknik statistik, matematika, kecerdasan buatan, dan *machine learning* untuk mengekstraksi dan mengidentifikasi informasi yang bermanfaat dan pengetahuan yang terkait dari database yang besar. Istilah *data mining* memiliki hakikat sebagai ilmu yang tujuan utamanya adalah untuk menemukan, menggali, atau menambang pengetahuan dari data atau informasi yang kita miliki. Proses menggali informasi dalam *data mining* melibatkan integrasi teknik dari berbagai disiplin ilmu, seperti teknologi database dan data *warehouse*, *statistik*, *machine learning*, komputasi dengan kinerja tinggi, *pattern recognition*, *neural network*, visualisasi data dan sebagainya (Agus Nur Khormarudin, 2016). Terdapat beberapa teknik yang digunakan dalam *data mining*, salah satu teknik *data mining* adalah *clustering*.

2.3 *Clustering*

Raval & Jani mendefenisikan *clustering* sebagai proses pengorganisasian objek data ke dalam set kelas yang saling berhubungan yang disebut *cluster*.

Clustering merupakan contoh dari klasifikasi tanpa arahan (*unsupervised*). *Unsupervised* berarti bahwa pengelompokan tidak tergantung pada standar kelas dan pelatihan atau *training* (Amelio & Tagarelli, 2018).

Menurut Dwinavinta, et al (2014), *clustering* merupakan salah satu teknik *data mining* yang digunakan untuk mendapatkan kelompok-kelompok dari objek-objek yang mempunyai karakteristik yang umum di data yang cukup besar. Tujuan utama dari metode *clustering* adalah pengelompokan sejumlah data atau objek ke dalam *cluster* atau grup sehingga dalam setiap *cluster* akan berisi data yang semirip mungkin. *Clustering* melakukan pengelompokan data yang didasarkan pada kesamaan antar objek, oleh karena itu klasterisasi digolongkan sebagai metode *unsupervised learning* (Dhuhita, 2015). Menurut Oyelade, et al 2010 *clustering* dapat dibagi menjadi dua, yaitu *hierarchical clustering* dan *non-hierarchical clustering*.

Hierarchical clustering adalah suatu metode pengelompokan data yang dimulai dengan mengelompokkan dua atau lebih objek yang memiliki kesamaan paling dekat (Dani, Wahyuningsih, & Rizki, 2019). Kemudian proses diteruskan ke objek lain yang memiliki kedekatan kedua. Demikian seterusnya sehingga *cluster* akan membentuk semacam pohon dimana ada hierarki (tingkatan) yang jelas antar objek, dari yang paling mirip sampai yang paling tidak mirip. Secara logika semua objek pada akhirnya hanya akan membentuk sebuah *cluster*. Dendogram biasanya digunakan untuk membantu memperjelas proses hierarki tersebut (Februariyanti & Winarko, 2009).

Berbeda dengan metode *hierarchical clustering*, metode *non-hierarchical clustering* justru dimulai dengan menentukan terlebih dahulu jumlah *cluster* yang diinginkan (dua *cluster*, tiga *cluster*, atau lain sebagainya). Setelah jumlah *cluster* diketahui, baru proses *cluster* dilakukan tanpa mengikuti proses hierarki. Metode ini biasa disebut dengan *K-Means Clustering* (Sani, 2018).

2.4 *K-Means Clustering*

K-means clustering merupakan salah satu metode *cluster analysis non hirarki* yang berusaha untuk mempartisi objek yang ada kedalam satu atau lebih cluster atau kelompok objek berdasarkan karakteristiknya, sehingga objek yang

mempunyai karakteristik yang sama dikelompokkan dalam satu cluster yang sama dan objek yang mempunyai karakteristik yang berbeda dikelompokkan kedalam *cluster* yang lain (Asroni, 2015).

Menurut Daniel & Eko (2013), Langkah-langkah algoritma *K-Means* adalah sebagai berikut:

1. Pilih secara acak k buah data sebagai pusat *cluster*.
2. Jarak antara data dan pusat cluster dihitung menggunakan *Euclidian Distance*. Untuk menghitung jarak semua data ke setiap titik pusat *cluster* dapat menggunakan teori jarak *Euclidean* yang dirumuskan sebagai berikut:

$$D(i, j) = \sqrt{(X_{1i} - X_{1j})^2 + (X_{2i} - X_{2j})^2 + \dots + (X_{ki} - X_{kj})^2}$$

Dimana:

$D(i, j)$ = Jarak data ke i ke pusat *cluster*

j, X_{ki} = Data ke i pada atribut data ke k X_{kj}

= Titik pusat ke j pada atribut k

3. Data ditempatkan dalam cluster yang terdekat, dihitung dari tengah cluster.
4. Pusat cluster baru akan ditentukan bila semua data telah ditetapkan dalam cluster terdekat.
5. Proses penentuan pusat cluster dan penempatan data dalam cluster diulangi sampai nilai centroid tidak berubah lagi.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

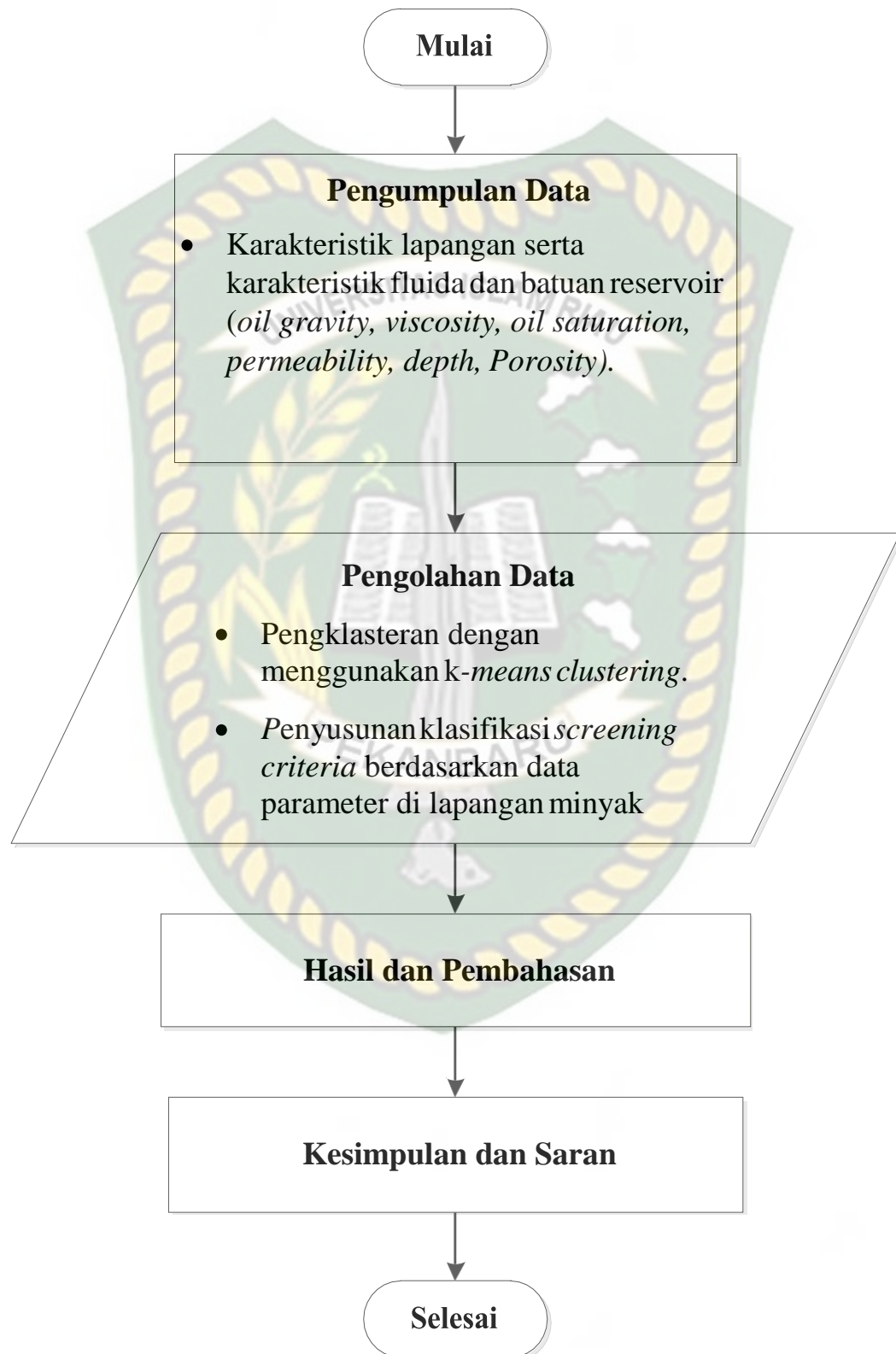
3.1 Uraian Metode Penelitian

Penelitian ini di kampus Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau. Metode yang digunakan adalah *Field Research*. Adapun jadwal kegiatan yang akan dilakukan selama penelitian sesuai dengan tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

Tahap Penelitian	Maret				April				Mei				Juni				Juli			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengumpulan Data																				
Pengklasifikasi an data berdasarkan parameter screening criteria injeksi EOR																				
Pembuatan data clustering klasifikasi screening criteria EOR																				
Pengklasteran Data																				

3.3 Flowchart



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Minyak bumi merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting bagi manusia. Dalam surah Al-A'raf ayat 10 disebutkan bahwa “Sesungguhnya Kami telah menempatkan kamu sekalian dimuka bumi dan Kami adakan bagimu dimuka bumi (sumber) penghidupan. Sangat sedikitlah kamu bersyukur.” (TafsirQ, 2015). Sebagai makhluk yang bersyukur tentunya kita harus memanfaatkan sumber daya alam dengan sebaik-baiknya, salah satunya adalah minyak bumi yang dapat membantu kehidupan manusia.

Pada bab ini akan disampaikan hasil serta pembahasan yang didapat dari penelitian “Penentuan urutan metode EOR dengan menggunakan *K-Means Clustering* sebagai rencana pengembangan lapangan X”. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui urutan metode EOR pada lapangan X berdasarkan data properti fluida dan batuanannya. Dalam penelitian ini akan diberikan rekomendasi metode EOR yang cocok digunakan pada lapangan X secara manual dengan menggunakan tabel *screening* baru yang telah disusun oleh peneliti.

4.1 Proses Pengolahan Data Menggunakan *K-means Clustering*

Penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan data dengan menggunakan algoritma *k-means*. Penelitian ini juga diharapkan akan membantu pengelola perusahaan dalam menentukan jenis metode EOR yang sesuai untuk suatu lapangan yang mengalami penurunan produksi dengan melakukan proses *screening criteria* menggunakan tabel *screening* terbaru ini. Agar tercapai tujuan tersebut peneliti akan melakukan pengujian dengan menggunakan data sekunder. Data sekunder merupakan sumber data penelitian yang diperoleh secara tidak langsung melalui media perantara yang dicatat oleh pihak lain. Data sekunder umumnya berupa bukti catatan atau laporan historis yang dipublikasikan.

Peneliti akan memaparkan skenario pengerjaan pengolahan data dengan menggunakan data parameter permeabilitas *steam injection*. Adapun langkah-langkah pengerjaan pengelompokkan data dengan menggunakan *k-means clustering* sebagai berikut :

1. Sumber Data

Dalam penelitian ini, sumber data diambil dari beberapa paper dan jurnal yang telah dipublikasikan.

Tabel 4.1 Data Permeabilitas *Steam Injection*

No.	Data	No.	Data	No.	Data	No.	Data
1	1	26	1000	51	2000	76	3000
2	1	27	1000	52	2000	77	3000
3	2	28	1000	53	2000	78	3000
4	3	29	1000	54	2000	79	3500
5	4	30	1000	55	2000	80	3500
6	5	31	1200	56	2000	81	3500
7	5	32	1200	57	2000	82	3500
8	5	33	1200	58	2000	83	3600
9	100	34	1300	59	2000	84	3700
10	200	35	1300	60	2200	85	4000
11	300	36	1300	61	2200	86	4000
12	300	37	1500	62	2200	87	4000
13	300	38	1500	63	2250	88	4000
14	400	39	1500	64	2260	89	4100
15	500	40	1500	65	2300	90	4200
16	500	41	1500	66	2500	91	4500
17	500	42	1500	67	2500	92	4500
18	600	43	1500	68	2500	93	5000
19	700	44	1510	69	2500	94	5200
20	700	45	1700	70	2700	95	5300
21	800	46	1700	71	2700	96	5500
22	800	47	1800	72	3000	97	5700
23	800	48	1800	73	3000	98	5800
24	900	49	1800	74	3000	99	6000
25	1000	50	2000	75	3000	100	6700

2. Pengolahan Data

Menurut (Nur Fauziah et al., 2015) tahapan pengklasteran data dengan menggunakan *k-means clustering* adalah sebagai berikut :

- a. Penentuan jumlah cluster. Pada proses ini *cluster* akan ditentukan sesuai dengan data parameter yang ada pada tiap injeksi EOR. Data parameter

- b. yang digunakan yaitu data permeabilitas (k), kedalaman (d), porositas (ϕ), saturasi, gravity dan viscositas (μ).
- c. Selanjutnya pengalokasian data kedalam *cluster*. Pengalokasian data permeabilitas ke dalam *cluster* terdapat pada tabel 4.1.
- d. Tentukan nilai *centroid* atau hitung rata-rata dari data yang ada pada masing-masing *cluster*. Pada proses ini akan dihitung rata rata dari parameter permeabilitas pada *steam injection*.
- e. Kembali ke bagian c apabila hasil yang didapat belum sesuai. Iterasi dihentikan apabila nilai pada *clustering* sudah tidak berubah.

Setelah tahapan pengalokasian data, selanjutnya menentukan nilai rata-rata dari tiap *cluster* (parameter). Nilai rata-rata pada parameter permeabilitas didapat hasil 2123.46. Berdasarkan rata-rata yang telah ditentukan pada *cluster*, selanjutnya akan dilakukan proses pengklasteran dengan mencari jarak terdekat menggunakan rumus Euclidean beriku (Daniel & Eko, 2013) :

$$\text{dist} = \sqrt{(X_{1i} - X_{1j})^2 + (X_{2i} - X_{2j})^2 + \dots + (X_{ki} - X_{kj})^2}$$

keterangan :

dist = Jarak Objek

j, X_{ki} = Data ke i pada atribut data ke k

X_{kj} = Titik pusat ke j pada atribut k

Hasil *clustering* iterasi ke 1 untuk parameter permeabilitas pada *steam injection* akan ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil *Clustering* Iterasi ke 1

No.	Data	No.	Data	No.	Data	No.	Data
1	2122.46	26	1123.46	51	123.46	76	876.54
2	2122.46	27	1123.46	52	123.46	77	876.54

3	2121.46	28	1123.46	53	123.46	78	876.54
4	2120.46	29	1123.46	54	123.46	79	1376.54
5	2119.46	30	1123.46	55	123.46	80	1376.54
6	2118.46	31	923.46	56	123.46	81	1376.54
7	2118.46	32	923.46	57	123.46	82	1376.54
8	2118.46	33	923.46	58	123.46	83	1476.54
9	2023.46	34	823.46	59	123.46	84	1576.54
10	1923.46	35	823.46	60	76.54	85	1876.54
11	1823.46	36	823.46	61	76.54	86	1876.54
12	1823.46	37	623.46	62	76.54	87	1876.54
13	1823.46	38	623.46	63	126.54	88	1876.54
14	1723.46	39	623.46	64	136.54	89	1976.54
15	1623.46	40	623.46	65	176.54	90	2076.54
16	1623.46	41	623.46	66	376.54	91	2376.54
17	1623.46	42	623.46	67	376.54	92	2376.54
18	1523.46	43	623.46	68	376.54	93	2876.54
19	1423.46	44	613.46	69	376.54	94	3076.54
20	1423.46	45	423.46	70	576.54	95	3176.54
21	1323.46	46	423.46	71	576.54	96	3376.54
22	1323.46	47	323.46	72	876.54	97	3576.54
23	1323.46	48	323.46	73	876.54	98	3676.54
24	1223.46	49	323.46	74	876.54	99	3876.54

25	1123.46	50	123.46	75	876.54	100	4576.54
----	---------	----	--------	----	--------	-----	---------

Hasil *clustering* pada iterasi 1 sudah didapatkan sesuai dengan tabel 4.2. Selanjutnya akan dilakukan penentuan nilai *centroid* pada *cluster* kembali. Pada proses ini peneliti akan menentukan nilai *centroid* berdasarkan pada data pertama tiap *cluster*. Data pertama pada *cluster* permeabilitas yaitu 2122.46.

Proses pengklasteran akan terus dilakukan hingga data hasil *clustering* akan didapat hasil yang sama dengan hasil iterasi sebelumnya. Hasil *clustering* pada iterasi ke 2 akan ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil *Clustering* iterasi ke 2

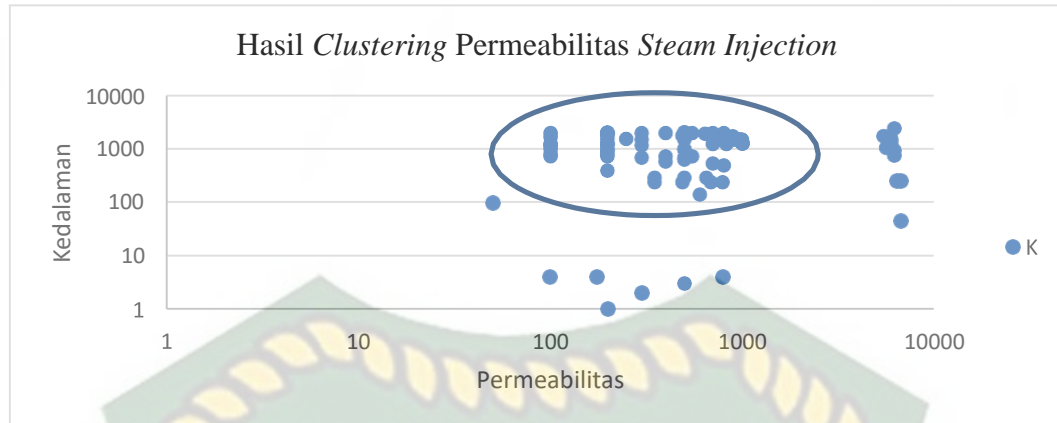
No.	Data	No.	Data	No.	Data	No.	Data
1	0	26	999	51	1999	76	1245.92
2	0	27	999	52	1999	77	1245.92
3	1	28	999	53	1999	78	1245.92
4	2	29	999	54	1999	79	745.92
5	3	30	999	55	1999	80	745.92
6	4	31	1199	56	1999	81	745.92
7	4	32	1199	57	1999	82	745.92
8	4	33	1199	58	1999	83	645.92
9	99	34	1299	59	1999	84	545.92
10	199	35	1299	60	2045.92	85	245.92
11	299	36	1299	61	2045.92	86	245.92
12	299	37	1499	62	2045.92	87	245.92
13	299	38	1499	63	1995.92	88	245.92
14	399	39	1499	64	1985.92	89	145.92
15	499	40	1499	65	1945.92	90	45.92
16	499	41	1499	66	1745.92	91	254.08
17	499	42	1499	67	1745.92	92	254.08
18	599	43	1499	68	1745.92	93	754.08
19	699	44	1509	69	1745.92	94	954.08
20	699	45	1699	70	1545.92	95	1054.08
21	799	46	1699	71	1545.92	96	1254.08
22	799	47	1799	72	1245.92	97	1454.08
23	799	48	1799	73	1245.92	98	1554.08
24	899	49	1799	74	1245.92	99	1754.08
25	999	50	1999	75	1245.92	100	2454.08

Hasil *clustering* untuk iterasi ke 2 sesuai dengan data pada tabel diatas. Iterasi terus dilanjutkan sampai hasil *clustering* tidak berubah nilai dari iterasi sebelumnya. Selanjutnya akan dilakukan iterasi ke 3 dengan menggunakan nilai centroid yaitu data pertama pada klaster. Nilai centroid yang digunakan yaitu 0. Hasil *clustering* untuk iterasi ke 3 terdapat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil *Clustering* Iterasi ke 3

No.	Data	No.	Data	No.	Data	No.	Data
1	0	26	999	51	1999	76	1245.92
2	0	27	999	52	1999	77	1245.92
3	1	28	999	53	1999	78	1245.92
4	2	29	999	54	1999	79	745.92
5	3	30	999	55	1999	80	745.92
6	4	31	1199	56	1999	81	745.92
7	4	32	1199	57	1999	82	745.92
8	4	33	1199	58	1999	83	645.92
9	99	34	1299	59	1999	84	545.92
10	199	35	1299	60	2045.92	85	245.92
11	299	36	1299	61	2045.92	86	245.92
12	299	37	1499	62	2045.92	87	245.92
13	299	38	1499	63	1995.92	88	245.92
14	399	39	1499	64	1985.92	89	145.92
15	499	40	1499	65	1945.92	90	45.92
16	499	41	1499	66	1745.92	91	254.08
17	499	42	1499	67	1745.92	92	254.08
18	599	43	1499	68	1745.92	93	754.08
19	699	44	1509	69	1745.92	94	954.08
20	699	45	1699	70	1545.92	95	1054.08
21	799	46	1699	71	1545.92	96	1254.08
22	799	47	1799	72	1245.92	97	1454.08
23	799	48	1799	73	1245.92	98	1554.08
24	899	49	1799	74	1245.92	99	1754.08
25	999	50	1999	75	1245.92	100	2454.08

Pada iterasi ke 3 didapatkan hasil *clustering* yang sama dan sesuai dengan hasil pada iterasi ke 2, sehingga proses pengklasteran selesai pada iterasi ke 3. Berikut grafik hasil *clustering* pada hasil pengklasteran permeabilitas *steam injection* :



Grafik 4.1 Hasil *clustering* permeabilitas *steam injection*

Dari grafik diatas, penentuan *range* untuk parameter permeabilitas *steam injection* belum bisa ditentukan. Sehingga penentuan *range* akan dilakukan dengan mengalokasikan nilai rata-rata dari hasil *clustering* ke dalam *cluster* yang sesuai dengan hasil rata-rata tersebut. Data hasil *clustering* akan dibagi kedalam 4 *cluster* (Sani, 2018). Pembagian *cluster* akan ditunjukkan tabel 4.5.

Nilai rata-rata yang didapat dari hasil *clustering* untuk parameter permeabilitas *steam injection* yaitu 1106.313. Berdasarkan nilai tersebut selanjutnya akan dilakukan proses pengalokasian nilai rata-rata permeabilitas kedalam *cluster* terdekat (Fauziah et al., 2015). Hasil *cluster* untuk nilai permeabilitas *steam injection* terdapat pada *cluster* ke 2. Sehingga *range* untuk parameter permeabilitas *steam injection* yaitu 545 – <2000 md.

Tabel 4.5 Cluster Hasil Clustering

No.	C1	No.	C2	No.	C3	No.	C4
1	0	26	545.92	51	1245.92	76	1245.92
2	0	27	599	52	1245.92	77	1245.92
3	1	28	645.92	53	1245.92	78	1245.92
4	2	29	699	54	1245.92	79	1245.92
5	3	30	699	55	1245.92	80	1245.92
6	4	31	745.92	56	1245.92	81	1245.92
7	4	32	745.92	57	1245.92	82	1245.92
8	4	33	745.92	58	1254.08	83	1254.08
9	45.92	34	745.92	59	1299	84	1299
10	99	35	754.08	60	1299	85	1299
11	145.92	36	799	61	1299	86	1299

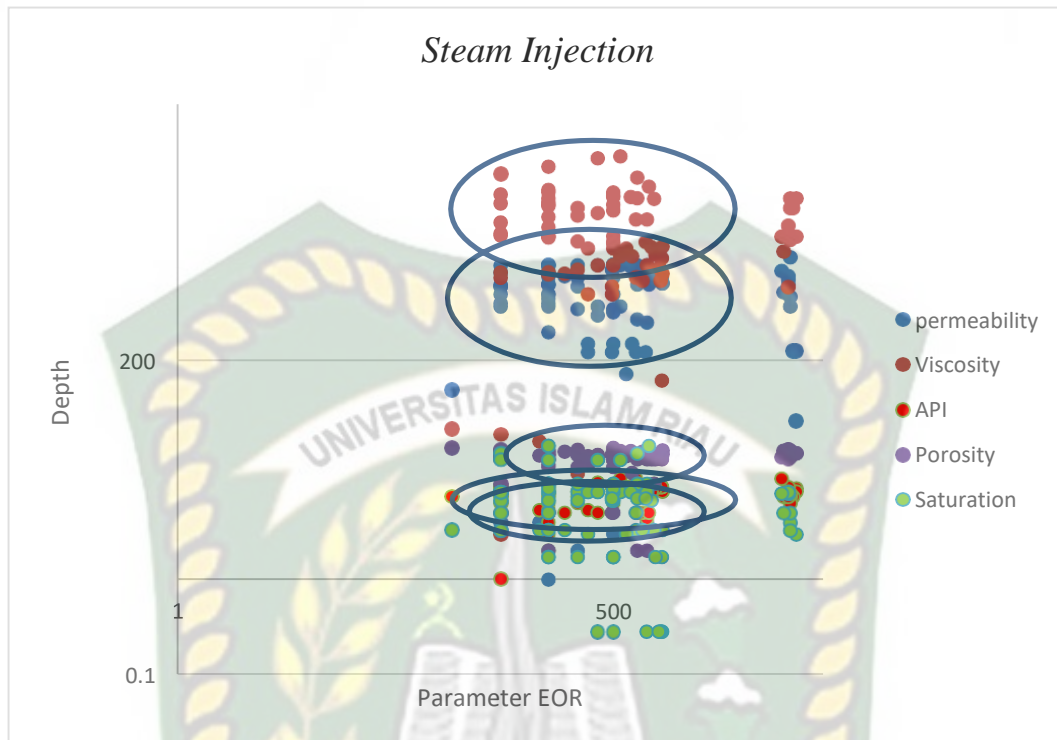
12	199	37	799	62	1454.08	87	1454.08
13	245.92	38	799	63	1499	88	1499
14	245.92	39	899	64	1499	89	1499
15	245.92	40	954.08	65	1499	90	1499
16	245.92	41	999	66	1499	91	1499
17	254.08	42	999	67	1499	92	1499
18	254.08	43	999	68	1499	93	1499
19	299	44	999	69	1499	94	1499
20	299	45	999	70	1509	95	1509
21	299	46	999	71	1545.92	96	1545.92
22	399	47	1054.08	72	1545.92	97	1545.92
23	499	48	1199	73	1554.08	98	1554.08
24	499	49	1199	74	1699	99	1699
25	499	50	1799	75	1699	100	1699

Keterangan :

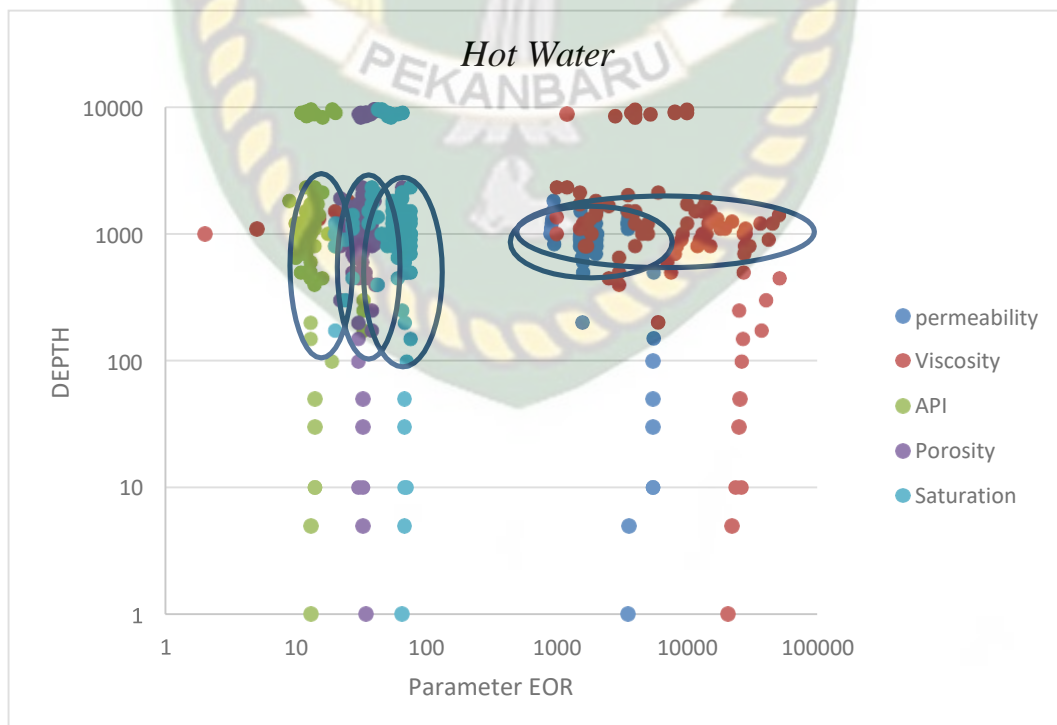
C1 = Cluster ke 1 C3 = cluster ke 3 C2

= Cluster ke 2 C4 = cluster ke 4

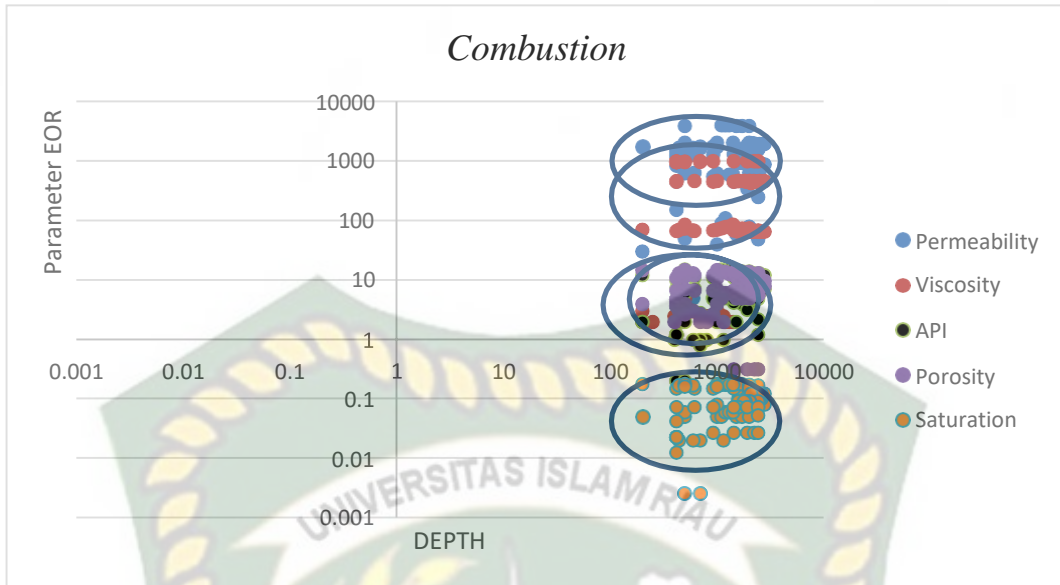
Prosedur pengerjaan parameter permeabilitas *steam injection* yang telah dilakukan diatas akan diulangi untuk parameter lainnya pada setiap injeksi EOR yang akan disusun pada tabel *screening* terbaru. Parameter tersebut yaitu permeabilitas, kedalaman, porositas, saturasi, *gravity* dan viskositas. Adapun injeksi EOR yang telah dilakukan pengklasteran yaitu CO2 *Miscible*, CO2 *Immiscible*, *Steam Injection*, *Combustion*, *Hot Water* dan *Polymer*. Hasil *clustering* tersebut dapat dilihat pada lampiran 1 sampai lampiran 6. Dari hasil *clustering* injeksi EOR tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk grafik dibawah ini.



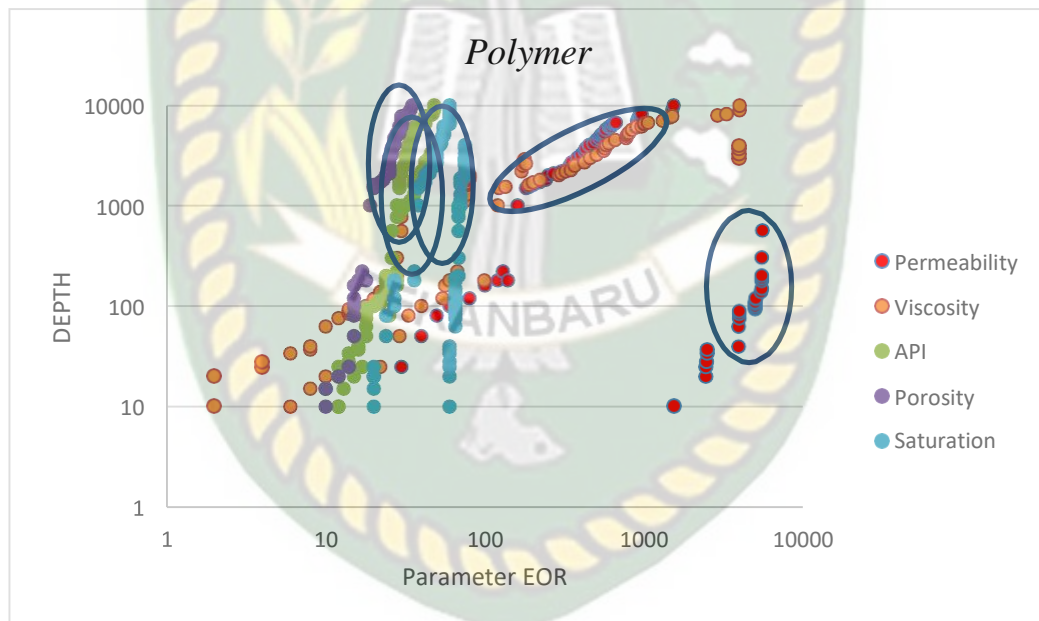
Grafik 4.2 Hasil *clustering* parameter *steam injection*



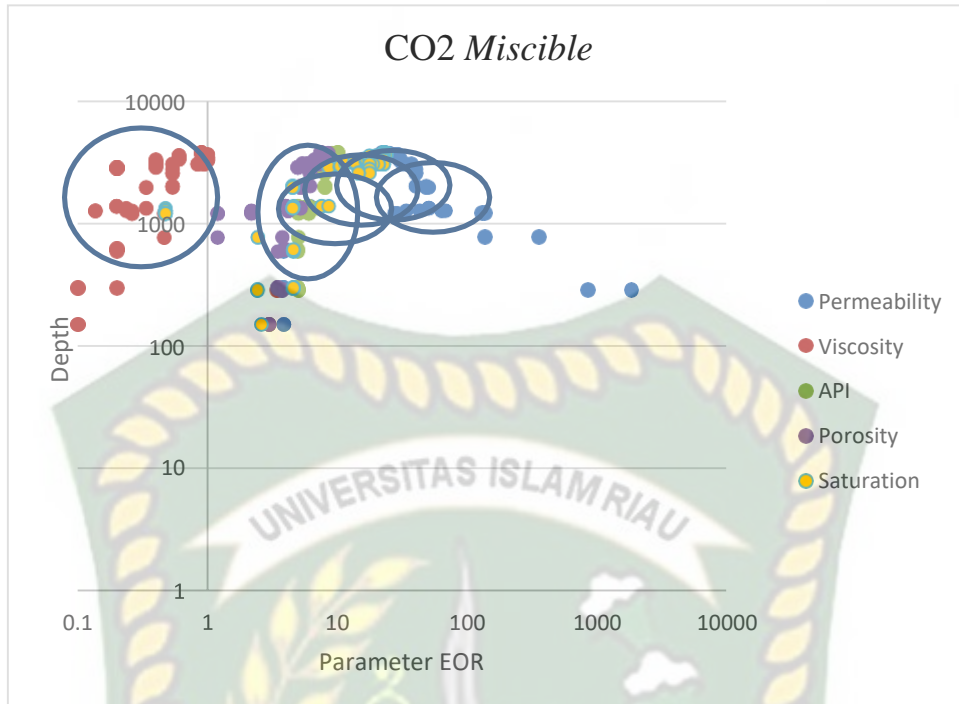
Grafik 4.3 Hasil *clustering* parameter *hot water*



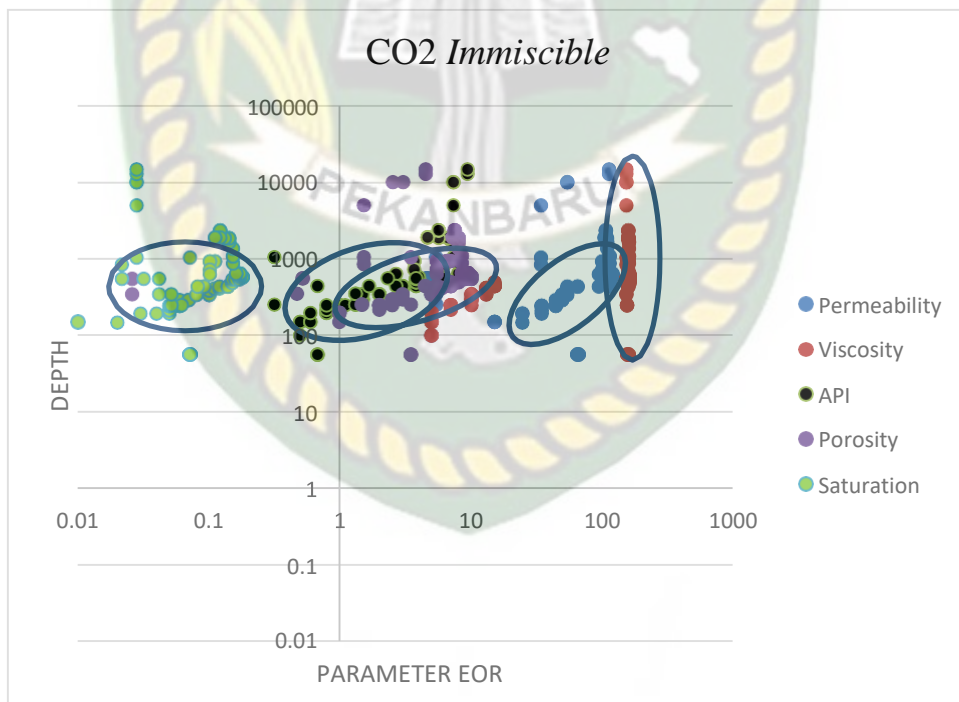
Grafik 4.4 Hasil *clustering* parameter *combustion*



Grafik 4.5 Hasil *Clustering* parameter *polymer*



Grafik 4.6 Hasil *clustering* parameter CO2 miscible



Grafik 4.7 Hasil *clustering* parameter CO2 immiscible

Grafik diatas merupakan plot dari hasil *clustering* parameter-parameter pada tiap injeksi EOR. Setiap grafik tersebut dapat dilihat plot yang terbentuk pada

masing masing parameter. Plot yang terbentuk pada tiap parameter tidak langsung dapat dilihat sebagai *range* atau hasil pada tiap parameter, sehingga masih harus dilakukan pengklasteran akhir pada tiap parameter untuk menentukan hasil akhir nilai parameter-parameter tersebut. Proses pengklasteran akhir telah dijelaskan pada skenario proses pengolahan data sebelumnya.

Hasil yang diperoleh pada parameter-parameter tiap injeksi EOR akan disusun dalam sebuah tabel yang akan dijadikan tabel *screening criteria* EOR baru dari hasil *clustering*, sebagai salah satu tabel opsional dalam melakukan *screening criteria* EOR pada suatu lapangan yang ingin dilakukan pengembangan. Tabel ini akan digunakan untuk melakukan *screening criteria* manual pada lapangan X yang akan dilakukan pengembangan dengan injeksi EOR, sehingga dapat ditentukan urutan metode EOR apa yang sesuai dan mampu memberi rekomendasi jenis injeksi EOR apa yang akan digunakan. Tabel *screening criteria* EOR dari hasil *k-means clustering* dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Tabel Screening Criteria Baru Hasil K-Means Clustering

SCREENING CRITERIA FOR EOR METHODS						
EOR METHODS	RESERVOIR PROPERTIES			OIL PROPERTIES		
	Permeability (md)	Depth (ft)	Porosity (%)	Oil Saturation (%)	Gravity (API)	Viscosity (Cp)
CO2 Miscible	5–850	3000–5100	10–25	10–60	>8	0.1– 2
CO2 Immiscible	20–150	100– 1500	17–30	30– < 90	<25	1– 20
Polymer	1000 –2500	880– <5500	15–35	20 –100	10 - 60	10–<3000
Combustion	100– 2500	200– 3000	10–15	20–94	1– 10	60–1000
Hot Water	1200 – <3000	1300 – <6000	20 – < 50	15–48	<10	3000– <8000
Steam	500 –<2000	700–6700	17–20	15–85	6–10	3000– <9000

Hasil yang diperoleh dari tabel 4.6 merupakan hasil dari pengklasteran data sekunder parameter lapangan yang telah melakukan injeksi EOR kedalam *k-means clustering*. Tabel yang telah disusun dapat dijadikan salah satu opsional dalam melakukan metode *screening criteria* EOR manual untuk suatu lapangan yang ingin dilakukan pengembangan. Tabel diatas dapat disesuaikan dengan salah satu lapangan yang telah melakukan injeksi EOR seperti lapangan *Slaughter Sundown*, Texas yang telah melakukan injeksi CO₂ *miscible*, sebagai pembuktian hasil *screening* yang akan diperoleh apakah sesuai dengan injeksi yang telah diterapkan. Berikut hasil *screening criteria* data lapangan *Slaughter Sundown*, Texas dengan menggunakan tabel *screening* hasil *k-means clustering*.

Tabel 4.7 Data Lapangan *Slaughter Sundown*, Texas

<i>EOR Method</i>	<i>Reservoir Properties</i>				<i>Oil Properties</i>	
	Permeability (md)	Depth (ft)	Porosity (%)	Oil Saturation (%)	Gravity (API)	Viscosity (Cp)
<i>CO₂ miscible</i>	6	4950	11	41	33	1.4

Tabel 4.7 menunjukkan data parameter pada lapangan *Slaughter Sundown*, Texas yang telah melakukan injeksi EOR CO₂ *miscible*. Selanjutnya data diatas akan dilakukan metode *screening criteria* manual menggunakan tabel *screening* EOR baru yang telah disusun oleh peneliti. Hasil yang diperoleh akan ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil *screening* data lapangan *Slaughter Sundown*, Texas dengan tabel *screening* baru

<i>EOR Method</i>	<i>Reservoir Properties</i>				<i>Oil Properties</i>	
	Permeability (md)	Depth (ft)	Porosity (%)	Oil Saturation (%)	Gravity (API)	Viscosity (Cp)
<i>CO₂ miscible</i>	5–850	3000–5100	10–25	10–60	>8	0.1– 2

Hasil *screening* yang diperoleh diatas dengan menggunakan tabel *screening criteria* EOR *k-means clustering*, dapat dilihat bahwa data lapangan *Slaughter Sundown*, Texas memenuhi seluruh kriteria injeksi *CO₂ miscible* dengan nilai persentase *screening* EOR 100%.

Tabel *screening criteria* EOR *k-means clustering* yang telah disusun oleh peneliti merupakan salah satu tabel *screening* EOR baru sebagai tambahan yang bisa dijadikan salah satu opsional dalam penentuan jenis injeksi EOR. Tabel ini tentu saja memiliki beberapa nilai yang berbeda dengan tabel *screening* lainnya, seperti dengan tabel Taber, Martin, Seright. Selanjutnya akan dilakukan perbandingan antara hasil *screening criteria* dengan menggunakan tabel *screening criteria* EOR *k-means clustering* dan tabel Taber, Martin, Seright.

Tabel 4.9 *Screening Steam injection* dari tabel *screening k-means clustering*

<i>EOR Method</i>	<i>Reservoir Properties</i>				<i>Oil Properties</i>	
	Permeability (md)	Depth (ft)	Porosity (%)	Oil Saturation (%)	Gravity (API)	Viscosity (Cp)
<i>Steam</i>	500 - <2000	700–6700	17–20	15–85	6–<2	3000– <9000

Tabel 4.10 *Screening Steam injection* dari tabel *screening Taber,Martin,Seright*.

<i>EOR Method</i>	<i>Reservoir Properties</i>				<i>Oil Properties</i>	
	Permeability (md)	Depth (ft)	Porosity (%)	Oil Saturation (%)	Gravity (API)	Viscosity (Cp)
<i>Steam</i>	>200 –2540	1500 –<5000	–	>40–66	8 –25	4700– <100.000

Dari tabel diatas *range* tiap parameter pada *screening steam injection* terdapat nilai yang berbeda. Selanjutnya akan dilakukan uji pada data lapangan yang telah melakukan *steam injection* untuk melihat sesuai ke dalam karakteristik tabel diatas. Screening criteria akan dilakukan pada lapangan North Antelope Hills, California yang telah melakukan injeksi steam. Hasil screening dengan kedua tabel diatas akan ditunjukkan pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil *screening* dengan menggunakan 2 tabel *screening* EOR

<i>EOR Method</i>	<i>Reservoir Properties</i>				<i>Oil Properties</i>	
	Permeability (md)	Depth (ft)	Porosity (%)	Oil Saturation (%)	Gravity (API)	Viscosity (Cp)
<i>Data Lapangan North A.H</i>	1500	1200	32	50	14	1400
<i>Steam (Tabel K-means)</i>	500 – 2000	700–6700	17–20	15–85	6–<20	3000–<9000
<i>Steam (Tabel Taber, Martini, Seright)</i>	>200 – 2540	1500 – <5000	–	>40–66	8 – 25	4700–<100.000

Hasil *screening* yang ditunjukkan pada tabel diatas dapat dilihat bahwa hasil *screening* dengan menggunakan tabel *k-means* memiliki persentase 66.6% sedangkan hasil *screening* dengan menggunakan tabel Taber, Martin, Seright memiliki persentase 50%, sehingga menunjukkan kriteria tabel *screening k-means* lebih mendekati pada kriteria lapangan yang telah melakukan injeksi *steam*.

Perbedaan nilai pada 2 tabel *screening* diatas didasarkan atas perbedaan data yang diperoleh. Tabel Taber, Martin, Seright merupakan data karakteristik reservoir proyek lapangan minyak di dunia yang telah sukses dan dicatat pada tahun 1997 (Taber, Martin, & Seright, 1997) dan pada tabel *k-means clustering* ini merupakan tabel hasil *clustering* dari data karakteristik lapangan minyak didunia yang telah

sukses dilakukan injeksi EOR dalam kurun waktu 10 tahun terakhir. Kedua data ini pasti memiliki perbedaan nilai dikarenakan adanya perbedaan tempat maupun keadaan geografis dari lapangan sehingga menyebabkan adanya data yang tentunya berbeda. Tabel *screening k-means* tersebut disusun guna menjadi salah satu opsional metode *screening criteria* EOR manual dan pada penelitian ini akan digunakan untuk menentukan rekomendasi jenis EOR untuk lapangan X.

4.2 Sifat Fisik Batuan dan Fluida pada Lapangan X

Tabel 4.12 merupakan data dari sifat fisik batuan dan fluida pada lapangan X. Lapangan ini memiliki nilai permeabilitas sebesar 1.004 md yang termasuk dalam skala baik sekali dengan nilai saturasi fluidanya sebesar 50%. Minyak pada lapangan X termasuk dalam minyak berat karena memiliki nilai °API sebesar 30.8, nilai viskositasnya yaitu 14,4 Cp dan komposisinya 90% terdiri dari C₇₊. Tipe batuan formasinya adalah sandstone dengan *thickness* 40 – 80 ft dan temperatur 136 °F pada kedalaman 1.100 ft – 1.300 ft.

Tabel 4.12 Data Lapangan X

NO	DATA	HASIL
1	<i>Oil gravity</i>	30,8 °API
2	<i>Viscosity</i>	14,4 Cp
3	<i>Oil saturation</i>	50%
4	<i>Type of formation</i>	<i>Sandstone</i>
5	<i>Thickness</i>	40 - 80 ft
6	<i>Permeability</i>	1.004 mD
7	<i>Depth</i>	1.100 ft – 1.300 ft
8	<i>Temperature</i>	136 °F
9	<i>Composition</i>	90% of C ₇₊
10	<i>Water salinity</i>	500 ppm

11	<i>Minimum miscible pressure</i>	3.100 psi
12	<i>Original pressure</i>	769 psig
13	<i>Water hardness</i>	16 ppm
14	<i>Mobility ratio</i>	68
15	<i>Residual oil saturation</i>	40%
16	<i>Drive mechanism</i>	<i>Water drive</i>
17	<i>Reservoir pressure</i>	532 psig

(doc. TA. Nadea Sasmita)

4.3 Screening Criteria dengan Menggunakan Tabel Hasil Clustering

Lapangan X yang akan dilakukan penerapan metode EOR, akan dilakukan *screening criteria* terlebih dahulu. Data – data yang diperlukan tersedia di tabel 4.12 kecuali komposisi minyak dan nilai porositas batuan. *Screening criteria* dilakukan dengan menggunakan tabel *k-means clustering* yang terdapat pada tabel 4.6. Selanjutnya hasil yang didapat dari *screening* manual data lapangan menggunakan tabel *screening* tersebut terdapat pada tabel 4.13 berikut.

Tabel 4.13 Screening Criteria Menggunakan Tabel Screening Baru

SCREENING CRITERIA FOR EOR METHODS						
EOR METHODS	RESERVOIR PROPERTIES				OIL PROPERTIES	
	k (md)	d (ft)	ϕ (%)	So (%)	Gravity (API)	μ (Cp)
CO2 Miscible	5–850	3000–5100	10–25	10–60	>8	0.1– 2

CO2 Immiscible	20 – 150	100– 1500	17–30	30– < 90	<25	1– 20
Polymer	1000 –2500	880– <5500	15–35	20 –100	10 - 60	10 – <3000
Combustion	100– 2500	200– 3000	10–15	20–94	1– 10	60–1000
Hot Water	1200 – <3000	1300 – <6000	20 – <50	15–48	<10	3000– <8000
Steam	500 – <2000	700– 6700	17–20	15–85	6–10	3000– <9000

Keterangan :

Biru = memenuhi

Merah = Tidak memenuhi

Berikut adalah perhitungan untuk hasil *screening criteria* EOR yang akan digunakan :

$$\frac{\text{Screening EOR yang memenuhi kriteria}}{\text{Total Screening EOR}} \times 100\%$$

Berikut adalah contoh hasil perhitungan hasil *screening criteria* untuk *polymer flooding* :

$$\frac{5}{6} \times 100\% = 83.33$$

Tabel 4.14 Urutan Metode EOR Berdasarkan Hasil *Screening*

No	Metode EOR	Hasil <i>Screening</i> (%)
1.	<i>Polymer flooding</i>	83.33
2.	<i>Steam</i>	50

3.	<i>Combustion</i>	50
4.	<i>CO₂ immiscible</i>	50
5.	<i>CO₂ miscible dan Hot water</i>	16.67

4.4 *Screening Criteria dengan Menggunakan Tabel Taber, Martin, Seright*

Data lapangan X yang akan dilakukan pengembangan dan telah dilakukan *screening criteria* dengan menggunakan tabel *screening criteria* hasil *clustering* yang telah disusun peneliti, akan dibandingkan hasilnya dengan hasil *screening criteria* pada tabel *screening* lainnya. Perbandingan ini merupakan sebagai tolok ukur sekaligus penambahan opsional untuk penerapan metode EOR apa yang paling sesuai diterapkan pada lapangan X tersebut.

Selanjutnya pada lapangan X akan dilakukan penerapan *screening criteria* dengan menggunakan tabel *screening* lainnya sebagai bentuk perbandingan hasil yang diperoleh dengan tabel *clustering* yang telah disusun oleh peneliti. Tabel yang akan digunakan yaitu tabel *screening* EOR Taber, Martin, Seright yang ditampilkan pada tabel 4.15. Selanjutnya data lapangan X akan dilakukan *screening criteria* menggunakan tabel tersebut. Kolom yang berwarna biru merupakan data yang memenuhi kriteria sedangkan yang berwarna merah adalah data yang tidak memenuhi kriteria.

Tabel 4.15 Hasil screening criteria menggunakan tabel Taber, Martin, Seright.

		Oil Properties			Reservoir Properties					
No	EOR Method	Gravity (°API)	Viscosity (cp)	Composition	Oil Saturation (% PV)	Formation Type	Net Thickness (ft)	Average Permeability (md)	Depth (ft)	Temperature (°F)
<i>Gas injection methods (Miscible)</i>										
1	Nitrogen and flue gas	>35 ⁴⁸ ↗	<0.4 ^{0.2} ↘	High percent of C1 to C7	>40 ⁷⁵ ↗	Sandstone or carbonate	Thin unless dipping	NC	>6,000	NC
2	Hydrocarbon	>23 ⁴¹ ↗	<3 ^{0.5} ↘	High percent of C2 to C7	>30 ⁸⁰ ↗	Sandstone or carbonate	Thin unless dipping	NC	>4,000	NC
3	CO ₂	>22 ³⁶ ↗	<10 ^{1.5} ↘	High percent of C5 to C12	>20 ⁵⁵ ↗	Sandstone or carbonate	Wide range	NC	>2,500	NC
1-3	Immiscible gases	>12	<600	NC	>35 ⁷⁰ ↗	NC	NC if dipping and/or good vertical permeability	NC	>1,800	NC
<i>(Enhanced) Waterflooding</i>										
4	Micellar/Polymer, ASP, and Alkaline Flooding	>20 ³⁵ ↗	<35 ¹³ ↘	Light, intermediate, some organic acids for alkaline floods	>35 ⁵³ ↗	Sandstone preferred	NC	>10 ⁴⁵⁰ ↗	<9,000	<200
5	Polymer flooding	>15	<150, >10	NC	>50 ⁸⁰ ↗	Sandstone preferred	NC	>10 ⁸⁰⁰ ↗	<9,000	<200 ¹⁴⁰
<i>Thermal/Mechanical</i>										
6	Combustion	10 to 27	<5,000 ± 1,200	Some asphaltic components	>50 ⁷² ↗	High-porosity sand/sandstone	>10	>50	<11,500 ^{3,500} ↘	>100 ¹³⁵
7	Steam	8 to 25	<100,000 ± 4,700	NC	>40 ⁶⁶ ↗	High-porosity sand/sandstone	>20	>200 ^{2,540} ↗	<5000 ^{1,500} ↘	NC
-	Surface mining	7 to 11	Zero cold flow	NC	>8 wt% sand	Mineable tar sand	>10	NC	>3:1 overburden to sand ratio	NC

(Taber, Martin, Seright 1997)

Keterangan : Biru = Memenuhi Merah = Tidak Memenuhi

Dari hasil *screening* dengan menggunakan tabel *screening criteria* EOR Taber, Martin, Seright yang dapat dilihat pada tabel 4.15 didapatkan hasil metode EOR *micellar/polymer*, ASP dan *alkaline flooding* dan *polymer flooding* memenuhi semua kriteria yang dianggap cocok untuk digunakan pada lapangan X, *steam* dan *immiscible gases* berada pada urutan selanjutnya dengan persentase 88.9 %, *combustion*, *hydrocarbon* dan CO₂ dengan persentase 77.8% dan terakhir *nitrogen* dan *flue gas* dengan persentase 66.7%. Berikut urutan metode EOR yang dapat diterapkan pada lapangan X berdasarkan *screening criteria* dengan menggunakan tabel *screening* EOR Taber, Martin, Seright.

Tabel 4.16 Urutan metode EOR menggunakan tabel Taber, Martin, Seright

No	Metode EOR	Hasil Screening (%)
1.	<i>Micellar/Polymer, ASP, and Alkaline Flooding</i>	100
2.	<i>Polymer flooding</i>	100
3.	<i>Steam</i>	88,9
4.	<i>Immiscible gases</i>	88,9
5.	<i>Combustion</i>	77,8
6.	<i>Hydrocarbon</i>	77,8
7.	<i>CO₂</i>	77,8
8.	<i>Nitrogen and flue gas</i>	66,7

4.5 Pembahasan

Proses *screening* manual menggunakan tabel *screening criteria* EOR berdasar hasil *clustering* dapat dilihat pada tabel 4.14. Hasil yang didapat yaitu metode EOR *polymer flooding* memenuhi kriteria yang dianggap paling cocok untuk digunakan pada lapangan X dengan persentase sebesar 83.33%. Pada urutan selanjutnya yaitu *steam injection*, *combustion*, dan *CO₂ immiscible injection* dengan persentase 50%. Urutan terakhir yaitu *hot water* dan *CO₂ miscible* dengan persentase 16.66%.

Berdasarkan hasil *screening* EOR dengan menggunakan tabel Taber, Martin, Seright, *micellar/polymer*, *ASP*, *alkaline flooding* dan *polymer flooding* merupakan metode EOR yang paling cocok digunakan pada lapangan X karena seluruh karakteristik fluida dan batuan dari lapangan X tersebut masuk kedalam rentang nilai *screening* berdasarkan tabel.

Hasil yang diperoleh dari proses *screening criteria* yang telah dilakukan dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam penerapan metode EOR yang akan diterapkan pada lapangan X maupun lapangan lainnya yang akan melakukan pengembangan dan membutuhkan proses *screening criteria* EOR terlebih dahulu. Pertimbangan ini akan diperkuat dengan nilai keekonomisan dan lain sebagainya. Penelitian ini, peneliti hanya akan memberikan rekomendasi penerapan metode EOR berdasarkan hasil dari proses *screening criteria* menggunakan tabel hasil *clustering* dan perbandingan dengan tabel *screening* EOR lainnya.

Berdasarkan kedua hasil *screening criteria* EOR yang telah dilakukan, kita dapat menentukan beberapa opsional dalam penentuan suatu metode EOR yang akan diterapkan untuk suatu lapangan yang ingin dilakukan pengembangan. Berdasarkan hasil yang diperoleh, metode EOR yang paling direkomendasikan yaitu *polymer flooding*. Hasil ini diperoleh dari persentase yang didapat pada kedua proses *screening criteria* yang telah dilakukan dengan menggunakan 2 tabel yang berbeda.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa:

1. Urutan metode EOR pada lapangan X berdasarkan hasil *screening* dengan menggunakan tabel *screening k-means clustering* yaitu *polymer flooding, steam injection, combustion, CO₂ immiscible injection, hot water dan CO₂ miscible injection*.
2. Berdasarkan urutan *screening* dapat dilihat bahwa *Polymer flooding* adalah metode EOR yang paling direkomendasikan digunakan pada lapangan X.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menerapkan beberapa metode pengklasteran lainnya dan dapat memperhitungkan keekonomisan dalam metode EOR yang terpilih.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, M. (2017). *Peluang Dan Tantangan Penerapan Nanoteknologi Melalui Metoda Enhanced Oil Recovery (Eor) Di Lapangan Minyak Indonesia*. (August), 148–152.
- Abdurrahman, M. B. D. (2016). *Peluang Dan Tantangan Penerapan Nanoteknologi Melalui Metoda Enhanced Oil*. (November 2016).
- Agus Nur Khormarudin. (2016). *Teknik Data Mining: Algoritma K-Means Clustering*. 1–12.
- Al-Mayan, H., Winkler, M., Kamal, D., AlMahrooqi, S., & AlMaraghi, E. (2016). Integrated EOR screening of major Kuwait oil fields using qualitative, quantitative and risk screening criteria. *Society of Petroleum Engineers - SPE EOR Conference at Oil and Gas West Asia, OGWA 2016*.
- Alamsah, M., Santoso, A. P., & Swadesi, B. (2007). Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan Dalam Pemilihan Metode Enhanced Oil Recovery. *Proceeding Simposium Nasional IATMI*.
- Almagrbi, A., Abdelsadeq, N., Alhebsy, A. A., Muftah, A., & Almabrouk, M. A. (2017). *CO₂ miscible flooding for Aswad Oil Field*. 03, 101–111.
- Alvarado, V., & Manrique, E. (2010). Enhanced oil recovery: An update review. *Energies*, 3(9), 1529–1575.
- Alvarado, V., Ranson, A., Hernández, K., Manrique, E., Matheus, J., Liscano, T., & Proserpi, N. (2002). Selection of EOR/IOR Opportunities Based on Machine Learning. *Proceedings of the European Petroleum Conference*, 373–383.
- Amelio, A., & Tagarelli, A. (2018). Data mining: Clustering. *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology: ABC of Bioinformatics*, 1–3, 437–448.
- Asroni, R. A. (2015). Penerapan Metode K-Means Untuk Clustering Mahasiswa Berdasarkan Nilai Akademik Dengan Weka Interface Studi Kasus Pada

jurusan Teknik Informatika UMM Magelang. *Ilmiah Semesta Teknik*, 18(1), 76–82.

Bae, W., Permadi, A. K., Inst, B., & Gunadi, B. (2013). *SPE 165847 Opportunities and Challenges of CO₂ Flooding in Indonesia*.

Dani, A. T. R., Wahyuningsih, S., & Rizki, N. A. (2019). Penerapan Hierarchical Clustering Metode Agglomerative pada Data Runtun Waktu. *Jambura Journal of Mathematics*, 1(2), 64–78. <https://doi.org/10.34312/jjom.v1i2.2354>

Daniel, R. K., & Eko, S. (2013). Penentuan Alih Fungsi Lahan Marginal Menjadi Lahan Pangan Berbasis. *JdC*, 2(2), 18–25.

Dedy Kristanto, W. (2017). *Perencanaan Injeksi Kimia Untuk Meningkatkan Perolehan Minyak Menggunakan Surfactant-Polymer Flooding*. 225–231.

Dhuhita, W. (2015). Clustering Menggunakan Metode K-Mean Untuk Menentukan Status Gizi Balita. *Jurnal Informatika Darmajaya*, 15(2), 160–174.

Dwinavinta, D., Nugraha, C., Fahmi, M., Naimah, Z., & Setiani, N. (2014). Klusterisasi Judul Buku dengan Menggunakan Metode K-Means. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI) Yogyakarta*, 21(1), 1907–5022.

Erfando, T., Rita, N., & Ramadhan, R. (2019). The Key Parameter Effect Analysis Of Polymer Flooding On Oil Recovery Using Reservoir Simulation. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 4(1), 49.

Fauziah, N., Zarlis, M., & Benny, B. N. (2015). *Sekolahmenengah Kejuruan Untuk*. (9), 100–105.

Februariyanti, H., & Winarko, E. (2009). Klastering Dokumen Menggunakan. *Seminar Nasional STIKOM Surabaya*.

Oyelade, O. J., Oladipupo, O. O., & Obagbuwa, I. C. (2010). *Application of k Means Clustering algorithm for prediction of Students Academic Performance*. 7, 292–295.

- Raval, U. R., & Jani, C. (2015). Implementing and Improvisation of K-means Clustering. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 4(11), 72–76.
- Saleh, L. D., Wei, M., & Bai, B. (2014). Data analysis and novel screening criteria for polymer flooding based on a comprehensive database. *SPE - DOE Improved Oil Recovery Symposium Proceedings*, 2(September 2013), 888–905.
- Sani, A. (2018). Penerapan Metode K-Means Clustering Pada Perusahaan. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, (353), 1–7.
- Taber, J. J., Martin, F. D., & Seright, R. S. (1997). EOR Screening Criteria Revisited - Part 1 : Introduction to Screening Criteria and Enhanced Recovery Field Projects. *SPE Reservoir Engineering (Society of Petroleum Engineers)*, 12(3), 189–197.
- Thomas, S. (2008). Enhanced Oil Recover - An Overview. *Oil & Gas Science and Technology*, 63(1), 9–19.