



BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

PetroGas (Basin) *Limited* adalah perusahaan pertambangan minyak dan gas bumi (migas) yang telah beroperasi di Wilayah Operasi Walio PetroGas (Basin) *Limited*, Kabupaten Sorong, Provinsi Papua Barat, yang mana pada saat ini telah mengakuisi kegiatan yang sebelumnya dioperasikan oleh perusahaan USA *Petromer Trend* dari tahun 1977 hingga 1990, *Santa Fe Energy* dari tahun 1990 hingga 2002, *Petrochina Bermuda Limited* dari tahun 2002 hingga 2016. Sejalan dengan komitmen dalam operasional yang telah dibuat, maka untuk melanjutkan kegiatan yang ada sebelumnya diperlukan pembenahan dalam pengelolaan lingkungan yang sudah ada agar manajemen lingkungannya menjadi lebih baik.

Setiap kegiatan industri pasti menghasilkan limbah, tak terkecuali kegiatan produksi migas. Salah satu komponen dalam air limbah industri migas ini yaitu suhu limbah yang cukup tinggi, yaitu 55°C hingga 60°C. Sejak beroperasinya *Kasim Marine Terminal* pada tahun 1975 hingga saat ini, suhu dari buangan *Produced Water Treatment KMT* masih memerlukan pembenahan sehingga dapat memenuhi standar yang ditetapkan berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.19 Tahun 2010, yaitu maksimal 45 °C.

Sangat disadari bahwa air yang bersih dan bebas dari pencemaran akan sangat dibutuhkan oleh manusia maupun makhluk hidup lainnya. Baku mutu limbah cair yang ditetapkan oleh pemerintah merupakan batas kadar yang diperbolehkan



bagi zat atau bahan pencemar untuk dibuang dari sumber pencemaran ke badan sumber air seperti sungai ataupun laut, sehingga tidak mengakibatkan dilampauinya baku mutu air (Srikandi Fardiaz, 2002).

Seperti halnya dalam permasalahan yang terjadi pada studi kasus kegiatan migas ini. Dari hasil produksi migas yang ada, dihasilkan buangan air limbah dengan suhu fluktuatif. Hal ini dikarenakan sistem pengolah yang belum efektif dalam menurunkan suhu air limbah panas, sehingga perlu adanya modifikasi sistem pengolah yang efektif guna menurunkan suhu air limbah tersebut.

Produk samping dari pengolahan minyak dan gas bumi disebut dengan air limbah terproduksi. Air ini berbeda dengan air pada umumnya karena mengandung bahan-bahan kimia dan unsur-unsur lain yang berbahaya. Sehingga, untuk mengurangi kadar bahan berbahaya di dalam air tersebut, perlu adanya analisis karakteristik dari air tersebut agar ditemukan solusi yang tepat. Pengolahan yang tepat akan membuat air terproduksi dapat dimanfaatkan dengan lebih baik.

Selain itu, pengamatan kondisi laut juga diperlukan. Laut merupakan media penampungan berbagai limbah yang berasal dari sungai maupun sumber aliran air lainnya. Limbah yang berasal dari daratan seperti limbah domestik, limbah industri, serta limbah akibat transportasi jalur laut baik yang sengaja maupun tidak sengaja. Paradigma tersebut telah menghapus konteks pengertian laut yang sesungguhnya bahwa laut merupakan sumberdaya yang kaya keanekaragaman, keunikan biota dan fenomena yang menyimpan berbagai misteri yang belum terpecahkan serta merupakan satu kesatuan ekosistem yang ada di dunia ini.



Salah satu limbah yang mengkhawatirkan bagi kelangsungan kehidupan biota laut adalah limbah panas yang berasal dari industri di daerah pesisir yang mengantarkan panas dari hasil produksi industri. Apabila limbah ini menyebar keseluruhan perairan laut maka akan sangat membahayakan bagi lingkungan laut dan hajat hidup biota laut tentunya.

Perubahan suhu laut tentunya akan berdampak pada proses-proses fotosintesis, *aerobic respiration* dan pertumbuhan, reproduksi, metabolisme dan kematian dari suatu organisme. Seperti kita ketahui bahwa laju proses reaksi biokimia pada umumnya akan meningkat dua kali lipat seiring meningkatnya suhu sebesar 10°C, dimana selang peningkatan ini merupakan batas toleransi maksimum dari suatu organisme. Perubahan suhu yang diakibatkan oleh pembuangan air limbah panas dari pendingin mesin-mesin industri atau pembangkit tenaga listrik ke perairan laut, lambat laun akan memiliki dampak terhadap biota perairan. Suhu air yang keluar dari kegiatan migas (*produce water*) mencapai 55 °C - 60 °C sehingga diduga akan mempengaruhi kehidupan biota laut dan yang lainnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui dampak pembuangan air limbah panas di wilayah sebarannya.

Pengendalian suhu air limbah panas migas bertujuan untuk mengurangi dan meminimalkan terjadinya gangguan lingkungan sekitarnya. Pengelolaan lingkungan yang efisien, tidak mengeluarkan biaya besar dan mudah perawatannya dan aman bagi lingkungan sekitarnya merupakan permasalahan yang harus dicarikan solusinya oleh pemrakarsa dan tentunya pemikiran dan kebijakan pemerintah juga dibutuhkan dalam mengendalikan bahkan memanfaatkan limbah air panas tersebut



yang dibuang ke lingkungan. Oleh karena itu perlu ada suatu upaya yang harus dilakukan guna mengendalikan limbah air panas melalui pengelolaan yang efisien dan tepat selama kegiatan. Terkait dengan hal tersebut, maka karya ilmiah ini menjelaskan: **Sistem Penurunan Suhu Air Limbah Terproduksi (*Produce Water*)**

Kegiatan Eksplosi Migas dan Dampaknya terhadap lingkungan.

Pada permasalahan yang dihadapi dalam sistem pengolahan air limbah terproduksi, bahwa suhu air limbah yang dirilis ke badan air (kondisi eksisting) masih belum optimum, dimana sistem pengolahan saat ini melalui pengaliran fluida kekompartemen dengan sistem penguapan dan satu kompartemen dengan sistem *spray pond*, sehingga harus dilakukan rekayasa sistem dan meneliti pengaruhnya ke lingkungan.

Dari analisis yang dilakukan didapatkan permasalahan yang ada di lapangan dirasa cukup unik, dimana limbah air terproduksi yang masuk ke KMT ini berbeda dengan wilayah lain yang menghasilkan suhu air limbah terproduksi lebih tinggi yaitu 75°C dan setelah pengolahan sistem alami mencapai $55 - 60^{\circ}\text{C}$.

Pada hal itu, suhu air limbah terproduksi rata-rata untuk kegiatan migas sendiri berkisar $10 - 30^{\circ}\text{C}$. Hal tersebut tentunya menjadi suatu novelty/kebaruan dalam suatu karya penelitian yang menarik untuk dicari solusi sehingga metode yang awalnya belum mampu menyelesaikan masalah saat ini, dapat dilakukan perbaikan atau solusi yang efektif dan efisien guna menyelesaikan permasalahan tersebut.

Sehingga, suhu air limbah dapat memenuhi baku mutu lingkungan (40°C) dan aman terhadap perairan laut/lingkungan.



1.2 Perumusan Masalah Penelitian

Berkaitan dengan permasalahan di atas bahwa sistem pengolahan limbah harus dilakukan rekayasa sehingga suhu yang dirilis ke badan air akan sesuai dengan baku mutu lingkungan.

Limbah air panas hasil kegiatan migas apabila tidak dilakukan pengelolaan dengan baik akan menyebabkan masalah terhadap lingkungan, dimana suhu yang diolah masih belum mencapai suhu standart akan dapat mengakibatkan gangguan pada biota laut dan lingkungan sekitarnya sesuai persebaran suhu air limbah, berdasarkan permasalahan di atas dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- 1) Bagaimana memperbaiki sistem pengolah air terproduksi pada Skimpit/pit/kompartemen/kolam didarat sehingga memenuhi baku mutu lingkungan?
- 2) Bagaimana membuat model simulasi fisik sistem penurunan suhu air terproduksi di skimpit (darat) sebelum dirilis ke laut?
- 3) Bagaimana membuat model sebaran suhu air terproduksi setelah diolah dari sistem skimpit dan menganalisis pengaruh suhu ke biota laut, serta menentukan area *mixing zone* dan titik penataan?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari uraian perumusan masalah diatas, maka tujuan dari dilakukannya penelitian ini diantaranya:

- 1) Untuk memperbaiki sistem pengolah air terproduksi pada Skimpit/kompartemen/kolam didarat sehingga memenuhi baku mutu lingkungan dibawah 40°C .
- 2) Untuk membuat model simulasi fisik sistem penurunan suhu air terproduksi di skimpit (darat) sebelum dirilis ke laut.



- 3) Untuk membuat model sebaran suhu air terproduksi setelah diolah dari sistem skimpit dan menganalisis pengaruh suhu air sungai atau laut terhadap biota serta menentukan area *mixing zone* dan titik penataan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adanya penelitian ini, diharapkan mampu bermanfaat bagi perkembangan teknologi terutama dalam teknologi IPAL, antara lain :

- 1) Sebagai referensi teknologi penurunan suhu air limbah migas yang efektif di bidang *Water Treatment* yang memanfaatkan sifat alamiahnya.
- 2) Sebagai bahan pertimbangan bagi pihak PetroGas, dalam pengaplikasian solusi permasalahan yang ada di lapangan.

1.5 Batasan Masalah

Berikut adalah batasan masalah untuk penelitian ini :

- 1) Parameter utama yang diteliti dalam penelitian ini adalah suhu
- 2) Suhu hasil penelitian ditargetkan untuk mencapai baku mutu air limbah dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.19 Tahun 2010
- 3) Debit yang digunakan pada penelitian ini adalah 200.000 BWPD yang mengacu pada debit terekstrim kondisi eksisting hasil akhir pengolahan air terproduksinya.
- 4) Dalam penelitian ini, suhu yang dimodelkan dalam penelitian ini adalah 60 °C yang merupakan suhu terekstrim pada kondisi eksisting dan suhu hasil model fisik
- 5) Skala yang digunakan mempertimbangkan ketersediaan tempat, biaya dan waktu yang tersedia.
- 6) Induksi panas dengan dinding bak diabaikan.



7) Tidak membahas mengenai hidraulika aliran dan jaringan perpipaan pada model.

1.6 Output Penelitian

Output dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu model fisik instalasi penurun suhu air limbah produksi migas dan mampu mengendalikan pencemaran lingkungan dalam pengendalian limbah air panas melalui pengelolaan yang efisien dan tepat dengan memanfaatkan sifat alamiahnya. Selain itu, kita juga bisa mengetahui model dispersi persebaran suhu dilautnya.



BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Limbah Air Panas

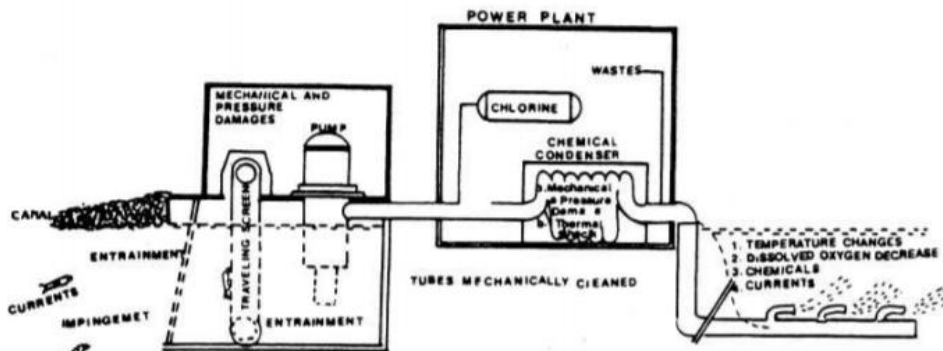
Menurut Davis (1999), limbah panas merupakan proses alami yang terjadi karena adanya pengaruh dari lokasi atau sumber air tersebut dan penerapan hukum kedua termodinamika. Limbah panas dapat membahayakan lingkungan apabila suhunya tidak dikendalikan.

2.1.1 Sumber Limbah Air Panas

Sumber limbah air panas menurut Mukhtasor (2016) di hasilkan dari limbah air pendingin PLTU dan air terproduksi yang berasal dari hasil pengeboran minyak dan gas.

1) Limbah Panas Air Pendingin PLTU

Air pendingin (*cooling water*) dan *effluent* dari PLTU dibuang ke laut pada suhu yang masih lebih tinggi daripada suhu laut itu sendiri. Menurut Mukhtasor (2016), suhu tinggi di laut dapat mengakibatkan penurunan oksigen terlarut dan kematian biota laut.



Gambar 2.1 Sistem Pendingin Pembangkit Listrik dan Potensi Dampak Biologisnya.

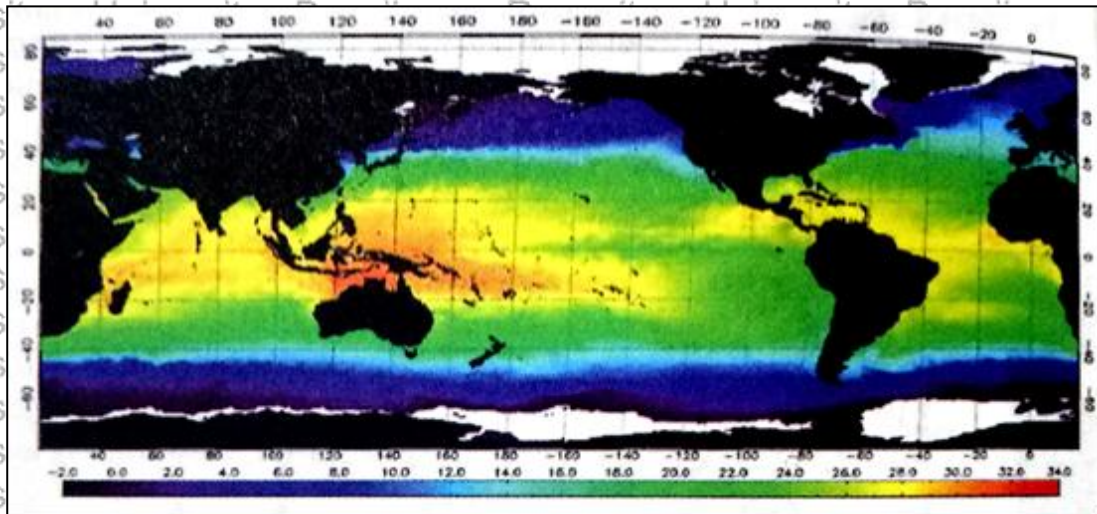
Sumber: Clark (1974)



2) Limbah Panas Air Terproduksi
Secara umum, air terproduksi yang di buang secara kontinyu tanpa pengendalian suhu terlebih dahulu merupakan penyumbang dampak terbesar dari kerusakan lingkungan akibat limbah air panas. Meskipun tergantung pada usia lahan sumur pengeboran, volume air terproduksi dapat mencapai lebih dari 90% dari total produksi cairan dan gas sepanjang umur sumur minyak (Mukhtasor, 2016).

2.1.2 Sebaran Limbah Air Panas

Pada dasarnya, air merupakan salah satu media yang mampu menyerap panas dalam jumlah yang cukup besar. Suhu merupakan salah satu parameter fisika yang menentukan kualitas air. Menurut Mukhtasor (2016), suhu air laut berkisar -2 hingga 30°C. Suhu air laut di pengaruhi oleh gerakan arus air laut itu sendiri. Adapun penyebaran suhu di laut disebabkan oleh gerakan-gerakan air, yaitu arus turbulens (Mukhtasor, 2016).



Gambar 2.2. Suhu Permukaan Laut Dari Satelit Inframerah

Sumber: NOAA-NESDIS, Pond and Pickard, 2010.



Menurut Kennish (2011) dalam Cahyani (2011), terdapat tiga profil temperatur yang dibagi berdasarkan perbedaan kedalaman, diantaranya adalah:

1) Zona Bawah Permukaan Air (0-50m)

Zona bawah permukaan masih dapat dijangkau oleh sinar matahari dan cenderung memiliki suhu yang tidak jauh berbeda dengan suhu udara ambien.

2) Zona Atas (50-200m)

Zona atas atau *upper zone* merupakan lapisan yang bersifat *isothermal* dan dapat dipengaruhi oleh angin permukaan. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya pencampuran yang baik.

3) Zona Termoklin (200-1000 m)

Pada zona termoklin, temperatur naik dengan cepat. Termoklin musiman sering terjadi pada kedalaman 50-100 m pada air laut di lintang pertengahan.

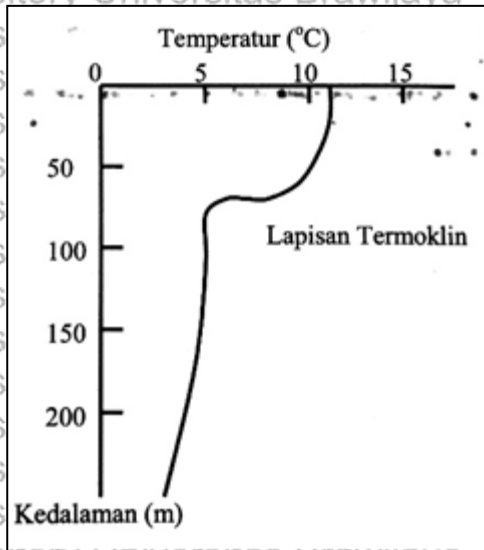
Sebaran limbah panas pada permukaan laut cenderung bersifat zonal, yaitu tidak bergantung pada posisi garis bujur. Menurut Stewart (2006) dalam Cahyani (2011), temperatur permukaan air laut memiliki anomali, deviasi temperatur dalam jangka panjang sangat kecil, kurang dari 1.5 °C kecuali di samudera pasifik di sekitar ekuator deviasi bisa mencapai hingga 3°C.

4) Zona Laut Dalam (>1000 m)

Seperti yang diketahui bahwa energi Matahari dapat terserap hingga kedalaman 100 m dari permukaan laut, dan pada laut dalam dengan kondisi sirkulasi air dan permukaan laut yang terbatas mengakibatkan terbentuknya gradien suhu. Gradien suhu ini menggambarkan kondisi dimana air yang memiliki suhu lebih



hangat berada di permukaan laut dan menutupi air yang memiliki suhu lebih dingin yang tidak mendapatkan energi matahari.



Gambar 2.3. Skema Tipikal Perubahan Suhu pada Setiap Kedalaman

Sumber: Mukhtasor (2016, p. 24).

Dari gambar diatas, dapat kita ketahui bahwa suhu mengalami penurunan seiring dengan kedalamannya yang terjadi di lapisan termoklin. Sedang pada lapisan yang ada dibawah termoklin, suhu yang ada relatif konstan karena adanya proses konveksi, sehingga tidak berinteraksi dengan lapisan atasnya.

2.1.3 Dampak Limbah Panas

Suhu merupakan faktor pembatas terhadap sebaran biota laut dan pengaruh viskositas air. Di samping itu, suhu juga berpengaruh terhadap kelarutan oksigen, kerapatan air laut dan kenaikan salinitas menyebabkan kenaikan kerapatan, serta kerapatan menurun dengan meningkatnya suhu air laut.



Menurut hukum Van't Hoff dalam Hutomo dan Arinardi (1992), setiap kenaikan suhu 10°C dapat mempercepat aktivitas metabolisme biota air sebanyak dua kali lipat. Pencemaran panas juga menyebabkan *thermal shock* yang merubah kandungan oksigen di dalam air, sehingga pergerakan organisme menjadi tidak normal. Pokale (2012) menyebutkan bahwa adanya panas secara berulang-ulang juga menyebabkan kematian pada organisme. Pengaruh limbah panas terhadap beberapa biota laut dapat di lihat pada **Tabel 2. 1**.

Tabel 2.1 Pengaruh Pencemaran Air Panas Terhadap Ekosistem Dan Biota Laut

Taxon	Location	Δt °C	Effect	Critical temperature	Reference
Mangroves	South Florida	5°	Net photosynthesis suppressed		Miller <i>et al.</i> , 1976
<i>Rhizophora mangle</i>	Guayanilla Bay, Puerto Rico	8-10°	Recruitment failure		Kolehmainen <i>et al.</i> , 1975
Mangroves	Florida			37-38°	Banus and Kolehmainen, 1976
<i>Thalassia</i>	Florida			33-34°	McRoy and McMillan, 1977
Seagrass	Tampa Bay, Florida	4-5°	Destruction of bed		Blake <i>et al.</i> , 1976
<i>Thalassia</i>	Florida	4-5°	Severe damage to denudation of beds		Thorhaug <i>et al.</i> , 1978
Algae	Turkey Point, Florida		Death	34°	Thorhaug, 1974
Algae	California	7-10°	Shift in community composition to virtual elimination		Devanny, 1980
<i>Caulerpa racemosa</i>	Guam	2°	Respiration doubled	34°	Hohman and Tsuda, 1973
Algae	La Parquera, Puerto Rico	6°	Death	35°	de Ramirez, 1973
Algae	Tampa Bay, Florida	3°	Reversion to early successional stage with dominance by blue-green		Blake <i>et al.</i> , 1976
<i>Acartia tonsa</i> (copepod)	South Biscayne Bay, Florida			34-37°	Reeve and Cosper, 1972
Copepods	Florida		Mass mortality	mid 30°	Alden, 1979
Ophiuroids	Biscayne Bay, Florida		Instantaneous death	37.5-40.5°	Singletary, 1971
<i>Echinometra mathaei</i>	Guam		Development and fertilization inhibited	34-36°	Rupp, 1973

Sumber: Gesamp (1984, p. 14).

2.2 Air Terproduksi

Menurut Tiana (2015), *produced water* atau air terproduksi adalah produk samping yang dihasilkan dari produksi minyak dan gas. Air terproduksi berbeda dengan limbah air pada umumnya karena air terproduksi berasal dari lapisan dalam Bumi yang tercampur dengan minyak dan gas. Faktor pembeda air terproduksi



dengan limbah air pada umumnya terletak pada lokasi, proses terbentuk dan komposisi.

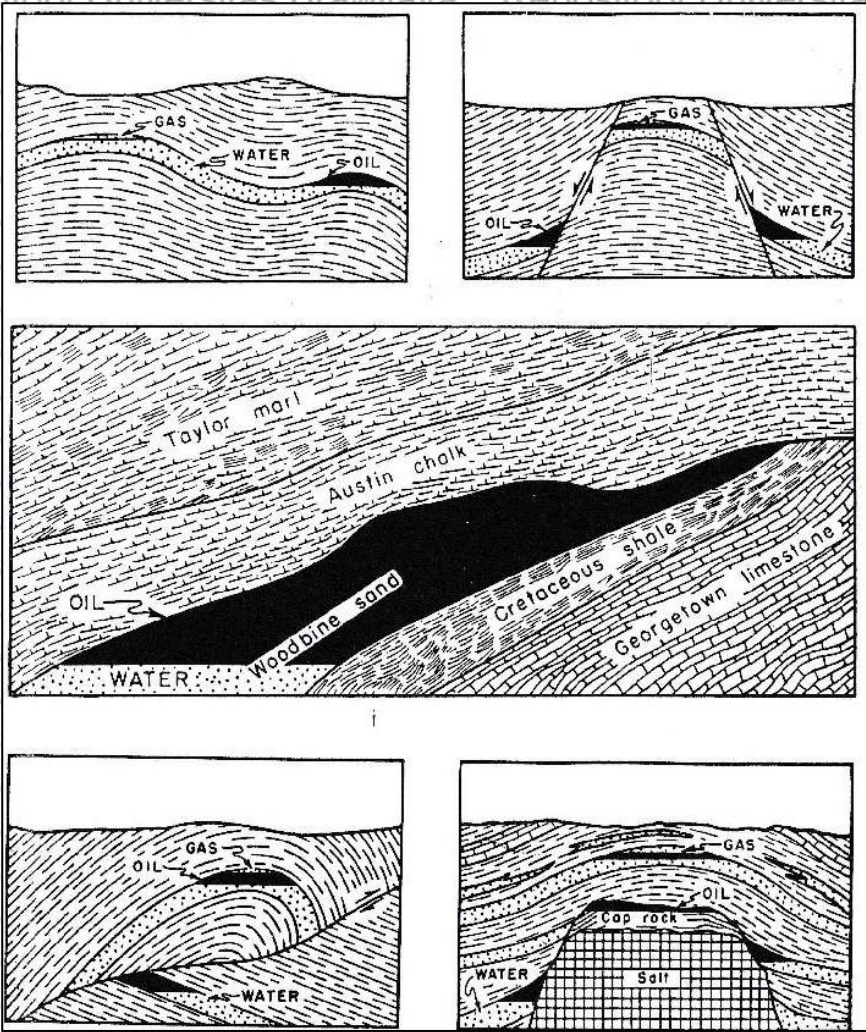
2.2.1 Lokasi Air Terproduksi

Pada dasarnya, sebagian besar reservoir minyak dan gas mempunyai lapisan air alami yang disebut *water formation*. Lapisan tersebut terletak di bawah lapisan hidrokarbon bumi. Dalam keadaan *maximum oil recovery*, terdapat air yang menembus masuk menuju reservoir yang berkaitan dengan adanya hidrokarbon.

Dalam beberapa kasus, air yang dihasilkan dapat berbentuk air terkondensasi. Sehingga, cairan yang keluar dari reservoir tadi tidak hanya hidrokarbon, tetapi diikuti oleh air.

Formasi reservoir memiliki bentuk berbeda-beda, namun pada dasarnya di dalam reservoir tetap terdapat air (akuifer), minyak mentah dan gas, meskipun letaknya berbeda-beda. Macam-macam tipe reservoir dapat dilihat pada **Gambar**

2.4.



Gambar 2.4 Tipe-Tipe Reservoir Secara Umum

Sumber : L. Katz dan L. Lee (1990, p. 24)

2.2.2 Proses Terbentuknya Air Terproduksi

Air terproduksi berasal dari lapisan akuifer yang terletak di reservoir. Air yang berada di reservoir bersama dengan minyak dan gas terbentuk selama berjuta-juta tahun yang lalu.

Kegiatan operasi produksi migas merupakan kegiatan yang menghasilkan air terproduksi, seperti pada lokasi studi kasus yang berada di Blok Kepala Burung.



Proses terbentuknya air terproduksi berawal dari hasil pengeboran minyak yang berupa fluida dari sumur-sumur yang ada di Lapangan Walio, kemudian fluida dialirkan menuju ke *Free Water Knock Out* (FWKO) yang bertujuan untuk memisahkan air dan minyak. Fluida yang berada di FWKO dialirkan ke *Dehydrator 1* dan *Dehydrator 2* sehingga menghasilkan minyak dan air secara terpisah. Minyak mentah akan didistribusikan menuju *KMT Storage Tank* untuk diproses ke tahap selanjutnya, sedangkan air yang berasal dari FWKO dialirkan menuju ke *skim pit* untuk dilakukan pengelolaan lebih lanjut. Air ini adalah air terproduksi. Air terproduksi yang telah melalui proses di *skim pit* kemudian di buang ke sungai maupun laut.

2.2.3 Karakteristik Air Terproduksi

Air terproduksi merupakan air yang sudah mengalami kontak dengan formasi geologis selama berjuta-juta tahun, maka komposisinya sangat tergantung pada *field* masing-masing. Air terproduksi yang telah mengalami kontak fisik dengan formasi hidrokarbon-bearing selama berabad-abad mengandung sifat-sifat kimiawi dari pembentukan hidrokarbon sendiri.

Menurut Afifah (2015), sumber, kondisi operasi, bahan kimia dan keadaan geologi selama proses pengolahan minyak dan gas mempengaruhi karakteristik air terproduksi. Meskipun tidak mungkin untuk menggambarkan air hasil produksi dengan menggunakan satu set sifat kimia dan konsentrasi, terdapat beberapa kelompok konstituen yang terkandung pada sebagian besar jenis air hasil produksi.

Menurut Konstituen utama yang menjadi fokus utama air hasil produksi adalah:



1) Konten Salt

Konten *salt* pada air terproduksi dinyatakan sebagai salinitas, total padatan terlarut, atau konduktivitas listrik. tingkat salinitas air hasil produksi dari reservoir umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan air laut.

2) Minyak dan Lemak

Pada dasarnya, air terproduksi memiliki karakteristik yang hampir sama dengan minyak, sehingga air terproduksi juga mengandung minyak dan lemak yang diidentifikasi dengan tes analitik yang mengukur adanya senyawa kimia organik.

3) Senyawa Anorganik dan Organik Alami

Lapisan bumi mengandung senyawa organik dan anorganik. Menurut RSC jurnal RSC: *Advancing The Chemical Sciences*, senyawa anorganik yang berada di lapisan Bumi berasal dari pecahan mineral yang terjadi akibat proses secara kimia, fisika dan biologi. Senyawa anorganik tersebut adalah oksigen, silikon, aluminium, Senyawa ini senyawa berasal dari jasad renik yang teruraikan oleh bakteeri. Sehingga memungkinkan untuk ikut terbawa bersama dengan air terpdokusi. Senyawa ini dapat menyebabkan *hardness* dan *scaling*.

4) Senyawa Kimia Aditif

Proses *drilling*, *fracturing*, dan sumur yang beroperasi memerlukan bahan kimia untuk mempermudah proses, sehingga dalam pengeboran dan produksi fluida masih memungkinkan memiliki beberapa sifat beracun, misalnya, biosida, dan inhibitor korosi dalam konsentrasi yang tinggi.



2.3 Dampak Air Terproduksi Terhadap Biota Laut

2.3.1 Lamun

Lamun (*seagrass*) adalah tumbuhan berbunga (*angiospermae*) yang berbijsatu (monokotil) dan mampu beradaptasi secara penuh di perairan yang salinitasnya cukup tinggi atau hidup terbenam di dalam air dan memiliki akar, rimpang (rhizoma), daun, bunga dan buah. Menurut DenHartog (1970), lamun hidup di perairan yang dangkal dan jernih dengan sirkulasi air yang baik yang menghantarkan zat-zat haradan oksigen.

Suhu sangat mempengaruhi kelangsungan hidup padang lamun. Kisaran suhu optimal bagi spesies lamun untuk perkembangan adalah 28°C-30°C, sedangkan untuk fotosintesis lamun membutuhkan suhu optimum antara 25°C-35°C.

2.3.2 Terumbu Karang

Karang merupakan hewan hidup filum Invertebrata seperti halnya ubur-ubur, yang dikenal sebagai cnidaria. Karang yang terkecil disebut polip. Ukuran polip bervariasi, yaitu kurang dari 1mm hingga 15 cm lebih. Sebagian besar karang hidup berkoloni yang terdiri atas ribuan polip dalam sebuah struktur karang. Namun ada pula jenis karang yang hidup soliter sebagai polip tunggal. Karang menggunakan kalsium dan molekul karbonat dari air laut untuk membentuk kerangkanya. Alga berukuran mungil yang disebut zooxantela atau alga simbiotik, tumbuh di dalam struktur karang. Keberadaan zooxantela dalam struktur karang membuat karang tampak berwarna dan memberinya energi untuk tumbuh.



Hewan karang dapat hidup pada suhu air rerata tahunan sebesar 19-20°C, dengan pertumbuhan optimal rerata tahunan 23-30°C (Garshkov dan Yakushova, 1977; Randall, 1983). Pada suhu di bawah 18°C karang terhambat pertumbuhannya bahkan mengakibatkan kematian. Pada suhu di atas 33 °C menyebabkan gejala pemutihan karang (bleaching), yaitu keluarnya zooxanthella dari karang dan akibat lebih lanjut akan mematikan karang (Tomascik, 1991).

2.3.3 Fitoplankton

Fitoplankton, yakni plankton nabati (> 90% terdiri dari algae) yang mengandung klorofil yang mampu mensintesa nutrisi anorganik menjadi zat organik melalui proses fotosintesis dengan energi yang berasal dari sinar surya.

Fitoplankton dapat dikatakan sebagai pembuka kehidupan di planet bumi ini, karena dengan adanya fitoplankton memungkinkan makhluk hidup yang lebih tinggi tingkatannya di muka bumi. Dengan sifatnya yang autotrof, fitoplankton mampu mengubah hara anorganik menjadi bahan organik dan penghasil oksigen yang sangat mutlak diperlukan bagi kehidupan makhluk yang lebih tinggi tingkatannya (Isnansetyo & Kurniastuty, 1995). Fitoplankton adalah organisme mikroskopik yang hidup melayang, mengapung dalam air serta memiliki kemampuan gerak yang terbatas. Fitoplankton berperan sebagai salah satu bioindikator yang mampu menggambarkan kondisi suatu perairan, kosmolit dan perkembangannya bersifat dinamis karena dominansi satu spesies dapat diganti dengan yang lainnya dalam interval waktu tertentu dan dengan kualitas yang tertentu juga. Perubahan kondisi lingkungan perairan akan menyebabkan perubahan pula pada struktur komunitas komponen biologi, khususnya fitoplankton (Prabandani et al, 2007). Fitoplankton



memegang peranan yang sangat penting dalam ekosistem air, karena kelompok ini dengan adanya kandungan klorofil mampu melakukan fotosintesis. Proses fotosintesis yang dilakukan oleh fitoplankton merupakan sumber nutrisi utama bagi kelompok organisme air lainnya yang membentuk rantai makanan. Kelompok fitoplankton yang mendominasi perairan tawar pada umumnya terdiri air diatom dan ganggang hijau serta dari kelompok ganggang biru (Barus, 2004).

Zooplankton, yakni plankton hewani yang makanannya sepenuhnya tergantung pada organisme-organisme lain yang masih hidup maupun partikel-partikel sisa organisme, seperti detritus dan debris. Disamping itu plankton ini juga mengkonsumsi fitoplankton. Zooplankton merupakan plankton yang bersifat hewani sangat beraneka ragam dan terdiri dari berbagai macam larva dan bentuk dewasa yang mewakili hampir seluruh filum hewan. Namun dari sudut ekologi, hanya satu golongan zooplankton yang sangat penting artinya, yaitu subkelas kopepoda. Kopepoda adalah Crustaceae holoplanktonik berukuran kecil yang mendominasi zooplankton, merupakan herbivora primer (Nybakken, 1992).

Sebagian besar zooplankton menggantungkan sumber nutrisinya pada materi organik, baik berupa fitoplankton maupun detritus. Kepadatan zooplankton di suatu perairan jauh lebih sedikit dibandingkan dengan fitoplankton. Umumnya zooplankton banyak ditemukan pada perairan yang mempunyai kecepatan arus rendah serta kekeruhan air yang sedikit (Barus, 2004).

Benthos adalah organisme dasar perairan baik berupa hewan maupun tumbuhan, baik yang hidup di permukaan dasar ataupun di dasar perairan. Semula benthos hanya digolongkan sebagai fitobenthos dan zoobenthos, tetapi Hutchinson



(1976) menggolongkan bentos berdasarkan ukurannya, yaitu bentos mikroskopis atau dikenal dengan sebutan mikrobentos dan makrobentos. Selanjutnya Lind (1979) memberikan definisi, bentos adalah semua organisme yang hidup pada lumpur, pasir, batu, kerikil, maupun sampah organik baik didasar perairan laut, danau, kolam, ataupun sungai, merupakan hewan melata, menetap, menempel, memendam, dan meliang di dasar perairan tersebut.

2.3.4 Mangrove

Mangrove merupakan hutan tumbuhan tingkat tinggi yang beradaptasi dengan sangat baik di wilayah intertidal maupun pada wilayah dengan tinggi permukaan pasang-surut rata-rata sampai pada wilayah dengan pasang tertinggi (Alongi, 2009). Komunitas tumbuhan mangrove tumbuh baik pada wilayah tropis dan mampu beradaptasi pada kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti: suhu tinggi, salinitas tinggi, pasang surut ekstrem, sedimentasi tinggi, serta kondisi substrat tumbuh yang miskin oksigen dan atau tanpa oksigen.

2.4 Standar Baku Mutu Air Limbah Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan

Air limbah merupakan air yang mengalami penurunan kualitas yang diakibatkan oleh setelah proses produksi sebelumnya. Selama proses menjadi air limbah, terdapat penambahan unsur-unsur di dalamnya. Unsur-unsur yang terkandung dalam air limbah pasti memiliki ukuran atau kadar tertentu yang masih diizinkan untuk terkandung didalamnya sebelum di buang ke laut. Batasan unsur-unsur tersebut diatur dalam baku mutu air limbah.



Air terproduksi yang dihasilkan industri migas memiliki unsur-unsur yang harus dibatasi sebelum di buang ke laut agar tidak membahayakan lingkungan.

Baku mutu untuk air terproduksi diatur dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010, diantaranya sebagai berikut:

Tabel 2.2. **Baku Mutu Air Limbah di Laut Hasil Eksplorasi dan Produksi Migas**

No.	Jenis Air Limbah	Parameter	Kadar Maksimum
1.	Air Terproduksi	COD	200 mg/L
		Minyak dan Lemak	25 mg/L
		Sulfida Terlarut (sebagai H ₂ S)	0,5 mg/L
		Amonia (Sebagai NH ₃ -N)	5 mg/L
		Phenol Total	2 mg/L
		Temperatur	45°C
		pH	6 – 9
		TDS	4000 mg/L
2.	Air Limbah Drainase	Minyak dan Lemak	15 mg/L
		Karbon Organik Total	110 mg/L

Sumber : Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010



2.5 Metode Pengolahan Air Terproduksi

Pada dasarnya, sebagian besar reservoir minyak dan gas mempunyai lapisan air alami yang disebut *water formation*. Lapisan tersebut terletak di bawah lapisan hidrokarbon bumi. Dalam keadaan *maximum oil recovery*, terdapat air yang menembus masuk menuju reservoir yang berkaitan dengan adanya hidrokarbon. Dalam beberapa kasus, air yang dihasilkan dapat berbentuk air terkondensasi. Sehingga, cairan yang keluar dari reservoir tadi tidak hanya hidrokarbon, tetapi diikuti oleh air. Produksi cairan dalam berbentuk campuran *free water*, emulsi air atau minyak, serta minyak. Ketika *oil field* sudah digunakan dalam jangka panjang, maka jumlah air yang dihasilkan pun meningkat. Hal ini tentunya berkaitan dengan akumulasi dari air yang menembus reservoir mengalami peningkatan. Rasio antara minyak dan air pun bervariasi dari satu reservoir ke reservoir lainnya. Hal ini juga tergantung pada lama penggunaan reservoir. Data menyebutkan bahwa di seluruh dunia, sekitar 75% dari produksi reservoir adalah air, namun di beberapa tempat lainnya persentase ini dapat meningkat hingga 98%.

Pada pengelolaan air terproduksi, aliran hasil produksi akan mengalir ke unit pemisahan disebut *Free Water Knockout Vessel (FWKV)*. Dalam unit ini, *free water* serta padatan bebas akan dipisahkan dari minyak. Air yang dihasilkan dalam unit ini kemudian tersimpan di *Water Tank*, sementara sisa minyak dan emulsi minyak-air akan diberikan perlakuan. Dalam *Treater Vessels*, kombinasi dari panas serta beberapa bahan kimia (*Emulsion Breakers* atau *Demulsifiers*) akan menyebabkan emulsi minyak-air terpisah sehingga hasil akhirnya berupa minyak bersih, air, dan



sisa padatan. Minyak bersih kemudiandi alirkan menuju ke tempat penyimpanan atau langsung dijual, sementara air akan masuk dalam *Water Tank* untuk pembuangan.

Beberapa sisa padatan juga dapat mengeluarkan air dan minyak residual yang terlihat mengapung ke permukaan setelah dibiarkan selama beberapa waktu tertentu. Lapisan minyak inilah yang akan diambil dari permukaan untuk didaur/diproses ulang. Di beberapa *field* atau lahan dengan fasilitas yang terbatas, air akan dibuang. Sementara di *field* dengan fasilitas yang lebih besar, air yang dihasilkan akan diberikan *treatment* dalam *Dissolved Air Floatation* (DAF) sehingga air yang dihasilkan lebih bersih. Dari unit DAF, air kemudian akan difilter dengan media yang umumnya berupa pasir dan multimedia filter atau melalui *hydrocyclones* untuk menghilangkan sisa minyak dan padatan. Setelah penyaringan akhir, air siap untuk dikeluarkan.

2.5.1 Strategi Pemanfaatan Air Terproduksi

Teknik untuk meminimalkan volume air hasil produksi dirancang agar layak untuk tiap lokasi, namun proses pembuangan tetap harus diperhatikan. Kebanyakan air hasil produksi *onshore* akan direinjeksikan ke formasi bawah tanah yang bertujuan untuk meningkatkan produksi minyak dan gas tambahan maupun untuk pembuangan. Semua proses ini berlangsung di bawah izin yang dikeluarkan oleh lembaga negara atau kantor regional dari *US Environmental Protection Agency* (EPA). Sebagian air hasil produksi *offshore* akan dibuang menuju ke laut setelah dilakukan *treatment* sesuai dengan persyaratan dari *National Pollutant Discharges Elimination System* (NPDES) yang diizinkan oleh kantor EPA regional.

- 1) Minimalisasi



Di tingkat minimisasi air, banyak proses yang dimodifikasi, teknologi yang diadaptasi, atau produk yang disubstitusi sehingga air yang dihasilkan menjadi lebih sedikit. Jika memungkinkan, minimalisasi air sering dapat menghemat biaya untuk operator dan lebih ramah lingkungan. Penjelasan detail mengenai teknologi minimalisasi air dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3. Teknologi Minimalisasi Air

Pendekatan	Teknologi	Pro	Kontra
Air Terproduksi			
Mengurangi volume air yang masuk ke dalam sumur	Peralatan blocking mekanik: <ul style="list-style-type: none"> • Packers • Plug • Pengaduk semen 	Peralatan tersebut harus digunakan pada konstruksi baru yang nantinya dapat ditambahkan untuk memperbaiki beberapa masalah.	Tidak mudah untuk memperbaiki masalah yang sudah ada.
	Bahan kimia untuk menghentikan aliran air: <ul style="list-style-type: none"> • Gel polimer 	Dapat sangat efektif pada model yang sudah dipilih.	Memerlukan informasi yang tepat untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan biaya.



Lanjutan Tabel 2.3 **Teknologi Minimalisasi Air**

Pendekatan	Teknologi	Pro	Kontra
Air Terproduksi			
Mengurangi volume air hasil pengelolaan yang ada di permukaan dengan pemisahan ke tempat lain.	Sumur dengan <i>dual completion</i> : <ul style="list-style-type: none"> • <i>Downhole water sink</i> <i>Sea floor separation modules</i> <ul style="list-style-type: none"> • Modul pemisah dasar laut. 	Dapat sangat efektif pada model yang sudah dipilih.	Terbatasnya penggunaan terdahulu yang membuat sumur lebih kompleks.
		Berpotensi menjadi teknologi masa depan.	Biaya yang cukup mahal. Hanya terdapat dua yang sudah terinstal selama tahun 2009.

Sumber : OLF, *The Norwegian Oil Industry Association (1991)*

2) Daur Ulang (*Recycle*)

Untuk air yang tidak dapat dikelola melalui pendekatan minimalisasi air, operator dapat memilih langsung ke tahapan kedua yakni air hasil produksi digunakan kembali atau didaur ulang (Tabel 2.3). Cara yang paling sering digunakan untuk reuse adalah dengan menginjeksikan ulang air hasil produksi menuju formasi produksi dengan tujuan untuk meningkatkan produksi.



3) Pembuangan

Ketika air tidak dapat dikelola melalui minimalisasi dan didaur ulang, maka operator harus membuangnya.

Sebelum membuang air hasil produksi, operator mungkin perlu menggunakan proses pengolahan dan teknologi yang berbeda. Disposisi air terakhir akan menentukan jenis dan tingkat perawatannya. Dalam hal ini, tingkat konsentrasi minyak dan Salinitas air hasil produksi yang dibuang ke daratan pun harus dikurangi, selain kandungan minyak dan lemak tentunya. Adapun teknologi pengolahan dapat dibagi menjadi dua kategori umum, tergantung pada jenis polutan yang akan dihilangkan. Teknologi tersebut yang pertama untuk menghilangkan garam dan yang kedua untuk menghilangkan minyak dan lemak.

2.6 Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Suhu Air

2.6.1 Iklim dan Cuaca

1) Radiasi Matahari

Menurut Day dan Sternes (1970), perbedaan kandungan uap air, karbon dioksida, dan gas yang lainnya yang ada di atmosfer menghasilkan perbedaan jangkauan radiasi sinar matahari yang menuju ke bumi. Misalnya, fotosintesis, dan jumlah air yang ada di danau dan waduk merupakan pengaruh dari lama penyinaran matahari. Begitu pula dengan suhu air.

2) Embun

Menurut Hans dan Joachim Tanck (1969), embun adalah awan yang berada di level permukaan tanah. Ketika udara menjadi dingin, kelembaban menjadi lebih tinggi sehingga menyebabkan proses kondensasi yang terdiri atas tetesan air.



Terdapat faktor yang menentukan terjadinya embun:

- Udara di dekat permukaan tanah menjadi dingin karena proses radiasi sepanjang malam.
- Udara hangat menjadi dingin karena permukaan tanah juga dingin yang diakibatkan oleh proses konduksi.

Embun juga ditentukan oleh kondisi tempat terjadinya. Tempat yang memiliki pepohonan dan perumahan cenderung memiliki embun yang lebih tebal, hal tersebut dikarenakan proses pengembunan, utamanya terjadi di ketinggian pohon atau atap. Udara dingin kehilangan kelembaban yang disebabkan oleh proses kondensasi hingga menjadi titik-titik air yang kemudian berkumpul menjadi embun yang berasal dari tempat yang tinggi hingga turun ke bawah. Udara akan lebih cepat dingin apabila menuju ke atas atau mengalami evaporasi.

3) Kelembaban

Pengukuran uap air yang biasa digunakan adalah kelembaban yang dinyatakan dalam persentase. Menurut Day dan Sternes (1970:58), kelembaban 100% menunjukkan bahwa udara benar-benar jenuh atau mengandung banyak air hingga batas maksimum. Kelembaban tergantung pada suhu dan tekanan. Semakin tinggi suhunya maka semakin banyak uap air yang diberikan ke udara.

4) Tekanan Udara

Menurut Day dan Sternes (1970:51), tekanan udara yang berada di atmosfer ditentukan oleh berat udara yang ada di permukaan. Semakin tinggi latitude maka semakin dekat dengan lapisan atmosfer yang semakin rendah tekanannya.



Karena udara seperti gas yang lainnya merupakan gas yang dapat ditekan dengan mudah.

2.7 Perpindahan Kalor (*Heat Transfer*)

Perpindahan kalor atau *heat transfer* menurut Holman adalah ilmu untuk menentukan besarnya perpindahan energi yang terjadi akibat adanya perbedaan suhu di antara benda. Perpindahan kalor melibatkan hukum pertama dan kedua termodinamika (Holman, 1997:1). Terdapat tiga modus dalam perpindahan kalor, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

2.7.1 Konduksi

Menurut Eckert dan Drake (1959:8), konduksi adalah proses perambatan panas yang dialami oleh benda padat yang mentransfer energi internal dari satu molekul ke molekul lainnya dengan menggunakan suatu media. Proses yang sama juga dapat dialami oleh benda cair dan gas. Konduksi dipengaruhi oleh perbedaan panas antara tempat satu dengan yang lainnya.

Kecepatan perambatan panas berbeda-beda tergantung pada daya hantar dari jenis media. Menurut Ariffin (2001:79) terdapat daya hantar beberapa media, yaitu:

Air = 0.0143 cal/cm/det/°C

Udara = 2.7×10^{-6} cal/cm/det/°C

Tanah Kering = 0.0004 - 0.0008 cal/cm/det/°C

Tanah Basah = 0.003 - 0.008 cal/cm/det/°C



2.7.2 Konveksi

Konveksi adalah istilah yang digunakan untuk salah satu perpindahan panas yang disebabkan oleh pergerakan molekul atau partikel di dalam fluida. Menurut Ariffin (2001:80), prinsip proses konveksi adalah perpindahan panas dari suatu media ke udara, dan juga sebaliknya, contoh dari proses konveksi adalah kondensasi dan pendidihan.

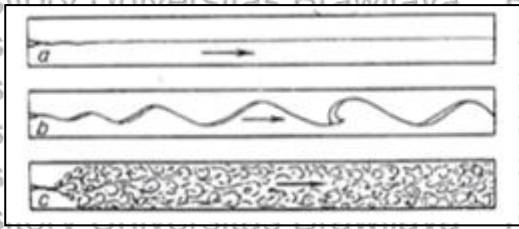
Menurut Mikheyev (1964:36), proses konveksi yang terjadi pada fluida tergantung pada beberapa faktor, yaitu:

1) Sumber Proses Konveksi

Pergerakan di dalam suatu fluida bisa diakibatkan oleh adanya pengaruh dari satu mesin, pompa, fan dan yang lainnya, proses konveksi yang dipengaruhi oleh hal tersebut dinamakan dengan *forced convection*. *Forced convection* tergantung pada sifat fisik dari fluida: suhu, kecepatan aliran, bentuk dan ukuran media yang nantinya dapat terjadi. Sedangkan proses konveksi yang terjadi karena adanya perbedaan muatan panas di dalam massa fluida disebut dengan istilah *free convection* atau *natural convection*. (Heat Transfer (1974)).

2) Jenis Aliran Fluida

Jenis aliran memiliki peran penting terhadap proses perpindahan kalor, hal tersebut karena jenis aliran menentukan mekanisme perpindahan kalor itu sendiri. Terdapat dua jenis aliran yang menentukan proses konveksi menurut Mikheyev (1964:37): laminar dan turbulen.



Gambar 2.5. **Diagram Aliran Laminer (a), transisi (b) dan turbulen (c) Fluida di dalam Pipa.**

Sumber: Mikheyev (1964:37)

Aliran turbulen menyebabkan partikel di dalam fluida bergerak tidak beraturan dan menyebabkan suhu di dalam fluida menjadi lebih tinggi karena adanya peningkatan aktivitas pergerakan molekul, sehingga pada aliran turbulen, panas ditransfer oleh partikel fluida yang saling tercampur. Pada aliran laminar, panas ditransferkan menuju ke arah dinding secara normal melalui proses konduksi dan angka dari perpindahan kalor ditentukan dari konduktivitas termal.

3) Kandungan Fluida

Intensitas perpindahan panas tergantung dari jenis zat yang dialirkan: air, gas, alkohol, gasolin, dan jenis minyak lainnya. Perpindahan panas juga ditentukan dari sifat fisik zat yang akan mempengaruhi konduktivitas termal, kapasitas panas, massa jenis, difusivitas termal dan viskositas.

2.7.3 Radiasi

Menurut Ariffin (2001:81), radiasi merupakan salah satu proses perambatan panas melalui radiasi dari permukaan tanpa adanya media, sehingga sifat permukaan merupakan faktor penting dalam proses radiasi. Salah satu contoh proses radiasi menurut J. Chapman (1974:4) adalah panas matahari.

Terdapat beberapa nilai dari panas jenis bahan yang menentukan proses radiasi, diantaranya :



Air = 1.00 cal/gr^oC

Udara = 0.24 cal/gr^oC

Tanah = 0.20 cal/gr^oC

Uap air = 0.50 cal/gr^oC

2.8 Teori Difusi

Suatu peristiwa difusi melibatkan peresapan satu fluida lainnya. Mekanisme proses difusi sendiri merupakan proses penyebaran partikel akibat adanya pergerakan polutan yang tidak beraturan, baik dalam skala molekuler ataupun yang lebih besar. Proses difusi terbagi menjadi dua, yaitu difusi molekuler dan difusi turbulen.

2.8.1 Difusi Molekuler

Difusi jenis ini merupakan percampuran suatu fluida akibat adanya gerakan molekuler pada air tenang atau aliran laminar. Transfer polutan dalam difusi jenis ini, bermula dari suatu titik dengan konsentrasi zat terlarut yang tinggi menuju ke titik dengan konsentrasi yang lebih rendah dengan laju setara dengan gradien konsentrasinya (Fischer dkk, 1979).

2.8.2 Difusi Turbulen

Difusi turbulen adalah suatu proses fisik akibat adanya interaksi polutan dengan fluida pada aliran turbulen. Proses ini terjadi karena adanya gerakan turbulensi yang tak beraturan baik dari segi besaran maupun arahnya. Menurut Quentin dan de Rouville (1986), turbulensi adalah suatu fenomena tidak beraturan serta perpindahan yang random pada sejumlah massa air di berbagai tempat dan tak berhubungan dengan arah alirannya



2.9 Inovasi Penurun Suhu Air

2.9.1 *Cooling Tower*

Cooling Tower adalah suatu alat yang dipergunakan untuk memindahkan sejumlah panas dari suatu fluida ke fluida lain dengan cara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfer.

1) Prinsip Kerja *Cooling Tower*

Cooling tower menggunakan prinsip penguapan, dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak untuk kemudian dibuang ke atmosfer. Oleh karenanya, suhu air dapat menurun secara signifikan. Alat ini juga mampu menurunkan suhu air hanya dengan menggunakan udara untuk membuang panas, sehingga biayanya lebih efektif dan efisien.

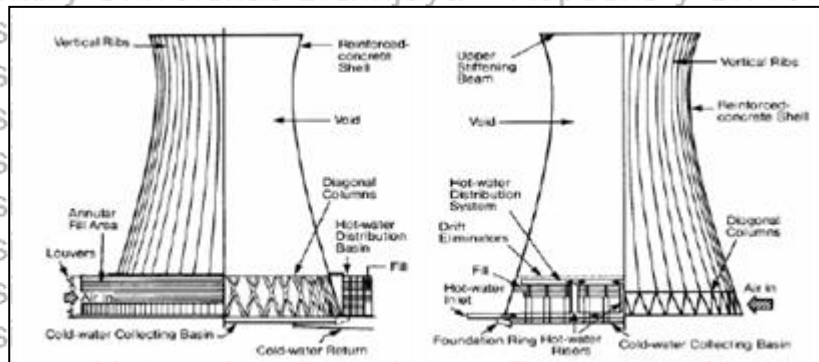
Cooling tower ini beroperasi menurut prinsip difusi, dimana adanya perubahan temperatur dapat mengakibatkan perbedaan besarnya laju perpindahan massa yang terjadi. Besarnya laju perpindahan massa dipengaruhi oleh luas daerah kontak antara fluida panas dengan fluida dingin.

2) *Cooling Tower Natural Draft*

Dalam konsepnya, menara pendingin jenis *natural draft* menggunakan perbedaan suhu antara udara ambien dan udara yang lebih panas dibagian dalam menara. Begitu udara panas mengalir ke atas melalui menara, udara dingin disalurkan ke menara melalui saluran udara di bagian bawahnya. Jenis *natural draft* ini tidak memerlukan fan dan hampir tidak ada sirkulasi udara panas yang dapat mempengaruhi kinerjanya. Untuk dinding menaranya, digunakan konstruksi beton ketinggian mencapai 200 m. Berdasarkan jenisnya, *cooling tower natural draft* dibagi menjadi dua:



- 1) Menara aliran melintang, dimana udara dialirkan melintasi air yang jatuh dengan posisi bahan pengisi berada diluar menara.
- 2) Menara dengan aliran yang berlawanan arah, dimana udara dihisap melalui air yang jatuh dengan posisi bahan pengisinya terletak dibagian dalam menara, dan untuk perancangan desainnya tergantung pada kondisi tempat yang spesifik.



Gambar 2.6 Menara Pendingin *Natural Draft* Aliran Melintang

Sumber: *Gulf Coast Chemical Commercial Inc, 1995*

3) *Cooling Tower Draft* Mekanik

Menara draft mekanik memiliki fan yang cukup besar untuk mengalirkan udara melalui air yang disirkulasi. Air jatuh turun diatas permukaan bahan pengisi dengan maksud untuk meningkatkan waktu kontak antara air dan udara. Hal ini membantu dalam memaksimalkan perpindahan panas diantara keduanya. Laju pendinginan menara draft mekanis tergantung pada banyak parameter seperti diameter fan, dan kecepatan operasi, bahan pengisi untuk tahanan sistim dan lain-lain. Menara draft mekanik tersedia dalam range kapasitas yang terbilang besar.

Tiga jenis *cooling tower draft* mekanik, antara lain:



4) Menara Pendingin *Forced Draft*

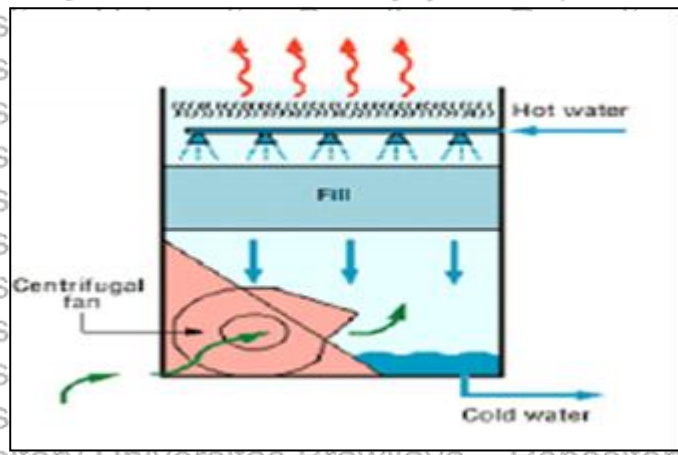
Udara dihembuskan ke menara oleh sebuah fan yang terletak pada saluran udara masuk. Keuntungan menggunakan jenis ini, yaitu cocok untuk resistansi udara yang tinggi karena adanya fan dengan blower sentrifugal dengan blower sentrifugal dan fan relatif tidak berisik. Sedangkan untuk kelemahannya, adanya resirkulasi karena kecepatan udara masuk yang tinggi dan udara keluar yang rendah. Namun, yang dapat diatasi dengan menempatkan menara di ruangan pabrik digabung dengan saluran pembuangan.

5) Menara Pendingin Aliran Melintang *Induced Draft*

Air masuk dari puncak dan melewati bahan pengisi, lalu udara masuk dari salah satu sisi (menara aliran tunggal) atau pada sisi yang berlawanan (menara aliran ganda). *Fan induced draft* mengalirkan udara melintasi bahan pengisi menuju saluran keluar pada puncak menara. Untuk keuntungannya menggunakan tipe ini, yaitu lebih sedikitnya resirkulasi sebab kecepatan keluarnya 3 hingga 4 kali lebih tinggi daripada udara masuk. Dan untuk kelemahannya adalah fan dan mekanisme penggerak motor dibutuhkan yang tahan cuaca, embun dan korosi sebab jalur udara keluar yang lembab.

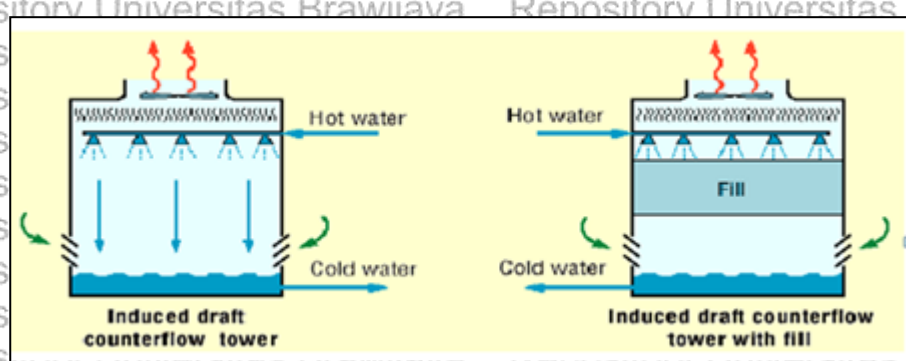
6) Menara Pendingin Aliran Berlawanan *Induced*

Air panas masuk pada puncak lalu udara masuk dari bawah dan keluar pada puncak. Tipe ini menggunakan *fan forced* dan *induced draft*.



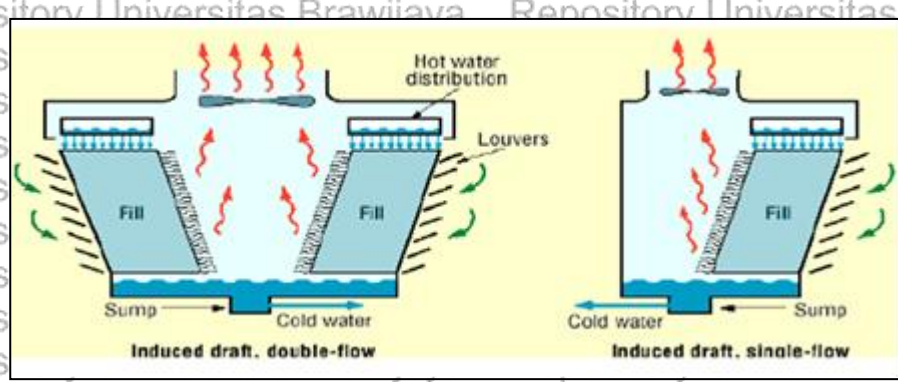
Gambar 2.7 **Cooling Tower Forced Draft (Sistem Paksa)**

Sumber: Gulf Coast Chemical Commercial Inc, 1995.



Gambar 2.8 **Cooling Tower Induced Draft Dengan Aliran Berlawanan**

Sumber: Gulf Coast Chemical Commercial Inc, 1995.



Gambar 2.9 **Cooling Tower Induced Draft Dengan Aliran Melintang**

Sumber: Gulf Coast Chemical Commercial Inc, 1995.



2.9.2 *Spray Pond*

Berbagai mesin dan proses perindustrian pasti mengeluarkan panas yang nantinya akan dibuang ke lingkungan. Panas yang dikeluarkan oleh mesin atau proses industri tersebut merupakan salah satu bentuk energi yang disebut *kalor*.

Sistem pengolahan air limbah untuk menurunkan suhu yang biasa digunakan adalah *spray pond*. Luasan *spray pond* mempengaruhi jumlah air limbah kondensor yang dapat diolah dan layak digunakan kembali sebagai air injeksi.

Menurut Hugot (dalam Novarina, 2012) penghitungan luasan *spray pond* yang dibutuhkan dapat menggunakan rumus $Q_2 = S \cdot 750 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{jam}$, Q_2 adalah berat air yang akan diolah (kg/h), S adalah luasan *spray pond* (m^2). Untuk kedalaman *spray pond* rata-rata 1 meter. Kedalaman ini tidak begitu berpengaruh terhadap penurunan suhu, yang menentukan adalah luasan dan kemampuan dalam menyemprotkan air. Dengan mengacu pada perhitungan tersebut dapat diketahui seberapa luasan *spray pond* yang harus dimiliki agar dapat memakai kembali air jatuhan kondensor sebagai air injeksi atau yang sudah bisa dialirkan ke sungai (Novarina, 2012:114).

Di samping *spray pond* terdapat alat lain yang dapat digunakan untuk mendinginkan air panas hasil dari proses pabrik, alat tersebut di-namakan *Colling tower*. *Colling tower* dari sisi dimensi lebih kompak, tidak perlu lahan luas, namun operasional lebih tinggi karena perlu bahan kimia pengendali erosi. Untuk alasan pencapaian suhu dan ekonomi energi, *cooling tower* lebih efektif (IFC, 2009).



2.9.3 House Power

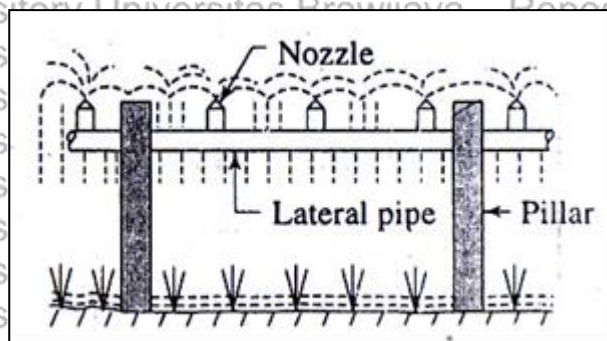
Pada *cooling tower* sumber daya yang digunakan sebagai pembuang udara adalah fan atau blower, kecepatan tergantung dari beberapa banyak air yang akandiinginkan. Jumlah dari fan tergantung pada faktor *cooling tower*, termasuk *typefill*, konfigurasi tower dan kondisi thermal.

2.9.4 Sprinkler

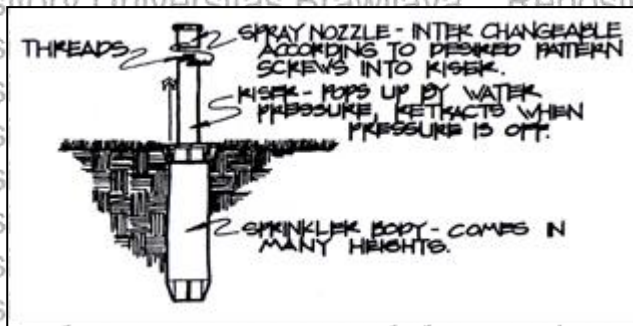
Sprinkler alat yang biasa digunakan untuk irigasi pancar. *Sprinkler* terdiri dari untuk mengeluarkan air dari pipa, sehingga air dapat keluar melalui pancaran. terdapat 2 jenis *sprinkler*, diantara yaitu:

- 1) *Sprinkler* Pancur (*Spray Sprinkler*)

Menurut Welby (2008:9), *sprinkler* pancur atau *spray sprinkler* terdiri atas dua bagian: tubuh dan *nozzle*. *Nozzle* memiliki peran penting dalam menentukan pola dan air yang keluar dari lubang. Area jangkauan *spray sprinkler* terbatas karena hanya memancarkan secara vertikal. Tetesan air yang menyebabkan pola semprotan adalah tetesan air yang cukup besar dan hanya dapat terjadi sebelum menjadi kabut yang mudah dipengaruhi oleh angin.



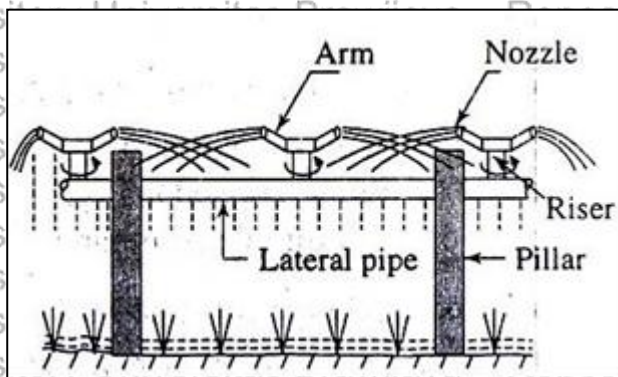
Gambar 2.10 **Spray Sprinkler dengan Nozzle Tetap**
Sumber: Nack (1999:11)



Gambar 2.11. **Spray Sprinkler**
Sumber: Welby (2008:10)

2) Sprinkler Putar (Rotating Sprinkler)

Sprinkler putar atau *rotating sprinkler* memiliki dua bagian: pipa riser (*arm*) dan nozzle. Pipa riser yang memiliki lengan atau *arm* yang membuat kepala *sprinkler* berputar secara melingkar atau *circular*. Pada ujung *arm* dipasang *nozzle* yang merupakan tempat keluarnya air. *Sprinkler* putar menjangkau area yang lebih jauh apabila dibandingkan dengan *spray sprinkler*. Hal ini disebabkan karena *sprinkler* putar menyemprotkan air secara horizontal.



Gambar 2.12 **Sprinkler Putar (Rotating Sprinkler)**
Sumber: Nack (1999:11)



2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini merupakan pengembangan dan modifikasi dari studi yang sudah pernah ada, beberapa penelitian terdahulu sudah dilakukan untuk mendukung penelitian ini. Penelitian-penelitian tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.4.**

Tabel 2.4. Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun	Penjelasan Singkat
1.	Pengoperasian <i>cooling water system</i> untuk penurun media pendingin evaporator	Ahmad Nurjana	2012	<p>Penelitian ini menggunakan sistem <i>cooling water</i> sebagai alat penunjang evaporator yang berfungsi untuk mendinginkan dan mengembunkan uap dari evaporator.</p> <p>Air yang keluar dari evaporator digunakan sebagai pendingin primer diturunkan temperaturnya oleh sistem pendingin sekunder menggunakan plate heat exchanger dan cooling tower.</p> <p>Sistem <i>cooling water</i> ini dapat menurunkan temperatur pendingin primer dari 42°C menjadi 29°C.</p>

Hasil Penelitian dan Kegiatan PLTR Tahun 2012 ISSN 0852-2979

Sumber: digilib.batan.go.id diakses pada 4 November 2018



Lanjutan Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun	Penjelasan Singkat
2.	Upaya peningkatan akurasi desain penukar kalor kontak langsung tipe <i>diffuser</i> pendingin air limbah panas.	Achmad Fauzan, HS	2007	Penelitian ini mengenai pelaksanaan desain penukar kalor yang berkontak langsung tipe <i>diffuser</i> untuk mendinginkan air. Prinsip kerja instalasi dalam penelitian ini adalah pengendalian suhu air dengan menggunakan kotak kaca dengan <i>diffuser</i> yang berupa pipa stainless steel. <i>Diffuser</i> yang digunakan terdapat lubang <i>nozzle</i> sebagai tempat keluarnya air.
Sumber: https://dokumen.tips/documents/penukar-kalor-tipa-difuser.html , diakses pada 20 Oktober 2018				
3.	Analisis Kelayakan Potensi Pembangunan Pltbg Pome Di Wilayah Perkebunan Sawit	Arif Zulkifli	2016	Fat Pit-Cooling Pond 1 = 55.12°C Cooling Pond 1-Cooling Pond 2 = 50.33°C Cooling Pond 2-Cooling Pond 3 = 42.94°C
Jurnal PASTI Volume X No. 2, 192-207				



Lanjutan Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun	Penjelasan Singkat
4.	<i>Improving The Performance of Power Plant Cooling Ponds</i>	Lowe	2012	Penelitian ini menggunakan bak yang terdapat pembatas (<i>baffle</i>). Penggunaan model dalam penelitian ini dapat menurunkan suhu 39.8°C hingga menjadi 32°C.
<p>Journal of Enviromental Management 105 (2012) 90-95 Sumber : www.elsevier.com/locate/jenvman, diakses pada 7 November 2018</p>				
5.	Kajian parameter suhu dalam baku mutu air limbah industri gula jenis air limbah kondensor di Jawa Tengah	Novarina Irnaning Handayani	2016	Air limbah kondensor industri gula memiliki karakteristik suhu tinggi dan jumlah yang banyak. Sebagian air limbah kondensor langsung dibuang ke lingkungan tanpa melalui pengolahan karena terbatasnya kapasitas unit penurunan suhu (<i>spray pond</i>). Hasil penelitian menunjukkan terdapat 19 genus fitoplankton dan 11 genus zooplankton yang hidup dalam badan air dengan suhu antara 26 hingga 32°C. Toleransi suhu 3°C dari suhu alami untuk kehidupan biota air masih dapat dicapai pada saat air limbah dengan suhu 38°C masuk ke dalam badan air minimal dengan debit yang sama.



Lanjutan Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun	Penjelasan Singkat
6.	Efektifitas Poly Aluminium Chloride (PAC) pada pengolahan limbah lumpur pemboran sumur minyak	Yustinawati, Nirwana, Irdoni HS	2012	Penanganan lumpur pengeboran minyak di daerah penelitian menggunakan integrasi metode Pengolahan Lumpur Terpusat (CMTF). Satu tahap pemrosesan yang dilakukan di CMTF adalah penggunaan zat kimia aluminium sulfat sebagai koagulan, dikarenakan proses koagulasi belum optimal dan masih ada padatan. Poly Aluminium Chloride (PAC) menjadi koagulan alternatif untuk pengobatan utama karena sifat partikel koloid dalam PAC mempercepat proses koagulasi secara cepat dan optimal.
7.	Study of Cooling Towers and Comparisio n of Convention al Cooling Tower and Spray Cooling Pond	C.P. Santhosh Ananda, N.Sekar2, S. Senthil Kumar, S. Sheik Hyder, S.Vignesh.	2017	Pada penelitian ini menggunakan air dengan suhu inlet yang masuk ke spray coolind pond adalah 45°C, sedangkan yang ada di outlet memiliki suhu 30 °C. keuntungan yang diperoleh menggunakan spray cooling pond selain dapat menurunkan suhu yang cukup efektif adalah lebih murah karena hanya memerlukan tenaga yang kecil dan pipa yang sedikit.

Sumber: *International Journal of Engineering Research & Techology (IHERT)*
ISSN: 2278-0181 (ETDM – 2017 Conference Proceedings)



Lanjutan Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun	Penjelasan Singkat
8.	<i>Ponds for Cooling and/or Salt Recovery</i>	David Chinloy, Jianping Zhang, Evangelos Stamatiou	2014	Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan suhu air menggunakan kolam dan kemudian digunakan sebagai kristalisasi air. Suhu air tertinggi yang ada di inlet adalah 25 F dan berangsur-angsur turun hingga 7 F.
Sumber: United States Patent Application Publication				
9.	<i>Innovative Technology Increase Evaporation Pond Efficiency</i>	Shamia Hoque, Terry Alexander, dan Patrick L. Gurian	2010	Penggunaan <i>droplet spraying</i> serupa dengan <i>spray pond</i> untuk meningkatkan evaporasi hingga 30-35%.
Sumber: www.researchgate.net				
10.	<i>Thermal Performance Measurements On Ultimate Heat Sinks-Cooling Ponds</i>	R.K. Hadlock dan O. B. Abbey	1978	Pada penelitian ini menunjukkan, air yang berada di kolam memiliki suhu awal 50 °C dan berkurang hingga sekitar 28 °C.
Sumber: International Nuclear Information System				

Sumber: Jurnal Penelitian



2.11 Analisis Regresi Linier Sederhana

Menurut Sembiring (1995) analisis regresi adalah metode statistika yang digunakan untuk menguji ada tidaknya hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Analisis regresi juga digunakan untuk mengetahui variabel bebas mana yang paling berpengaruh terhadap variabel terikat.

Dalam analisa regresi, variabel bebas adalah variabel yang berperan sebagai variabel penjelas atau variabel yang mempengaruhi variabel terikat. Sedangkan variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Nilai atau skor variabel terikat tergantung dri variabel bebas. Dalam analisa regresi, varibael terikat memiliki lambang Y. (Regresi dan Korelasi Dalam Genggaman. 2011).

Secara garis besar, terdapat langkah-langkah beserta penjelasan dalam analisa regresi, antara lain (S. Chatterjee dan A.S. Hadi (2006:7):

1) Mendeskripsikan masalah

Menduga faktor-faktor yang mempengaruhi permasalahan yang akan diuji merupakan tahap dalam mendeskripsikan masalah.

2) Menentukan variabel yang berhubungan dengan masalah tersebut

Pengujian analisis regresi bertujuan untuk mengetahui hubungan terhadap variabel. Terdapat dua variabel yang harus ditentukan sebelum menganalisis data, yaitu variabel bebas dan variabel terikat.

3) Mengumpulkan data

Analisis regresi melibatkan dua jenis data: data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang berasal dari penelitian atau survei, sedangkan data yang berasal dari instansi atau data yang sudah tersedia lainnya merupakan data sekunder.



4) Membangun model

Menurut A.Rachmah, Kurniawan dan Yamin (2011:4), model yang akan diteliti diasumsikan memiliki hubungan linier dengan terhadap variabel independen yang dilambangkan dengan X, sehingga model regresi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + e \dots\dots\dots (2-1)$$

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_6$ merupakan koefisien regresi, Y adalah variabel terikat, sedangkan X_1, \dots, X_6 adalah variabel bebas dan e adalah error.

Sebelum tahap mengasumsikan pola hubungan antar variabel, perlu pemeriksaan kembali untuk memastikan apakah antar variabel memiliki pola hubungan linier atau non-linier.

5) Memilih Metode Untuk Menafsirkan Model

Metode taksiran kuadrat kecil merupakan metode yang digunakan untuk menentukan koefisien regresi dalam regresi linier. Menurut Sembiring (1995), metode ini digunakan untuk mendapatkan koefisien regresi ($\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_6$) hingga jumlah kuadrat error ($\sum_{i=1}^n \epsilon_i^2$) menjadi sekecil mungkin.

6) Analisis regresi

Analisis regresi dapat menggunakan aplikasi yang sudah tersedia yang dimaksudkan untuk mengetahui hubungan variabel bebas dan terikat. Analisis regresi dapat dilakukan secara manual maupun menggunakan aplikasi.

7) Validasi model



Validasi model adalah pengujian terhadap asumsi regresi linier. Tahap-tahap untuk memvalidasi data terdiri dari:

1) Pemeriksaan Linearitas

Pemeriksaan linearitas dapat menggunakan *scatterplot* antara variabel bebas dan variabel terikat.

2) Pemeriksaan Normalitas Error

Normalitas error dapat diperiksa menggunakan histogram, P-P plot, Q-Q plot. Sedangkan untuk pengujian hipotesisnya dapat melalui Uji Kolmogorov-Smirnov, Uji Shapiro-Wilks, Uji Jarque Berra (JB).

3) Pemeriksaan Otokorelasi

Pemeriksaan ini bertujuan untuk memastikan bahwa tidak ada masalah otokorelasi yang dapat menggunakan *scatterplot*, Uji Durbin Watson, atau Uji Breusch-Godfrey Serial Correlation.

4) Pengujian Heteroskedastisitas

Macam-macam uji yang digunakan untuk menguji heteroskedastisitas adalah Uji White dan Uji Breusch-Godfrey (BPG).

5) Pengujian Multikolinieritas Variabel

Variabel yang diuji pada tahap ini adalah variabel bebas, uji yang dapat digunakan adalah VIF (*Variance Inflated Factor*), TOL (*Tolerance*) dan *condition index* (indeks kondisi-CI)

8) Menggunakan model untuk menyelesaikan masalah

Menggunakan variabel bebas sebagai acuan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh terhadap variabel terikat.



2.12 Permodelan Hidraulika

2.12.1 Prinsip Scalling

Dalam suatu perencanaan bangunan IPAL, sebelum kita mendesign instalasi di lapangan seringkali dibuat sebuah model fisik. Model fisik ini menggunakan prinsip *scalling*. Prinsip *scalling* adalah membentuk kembali masalah yang ada di *prototype* atau lapangan ke dalam skala yang lebih kecil. Sehingga fenomena yang ada pada model mirip dengan kondisi aslinya di lapangan. Dalam studi mengenai permodelan, disebutkan bahwa model terbagi menjadi dua jenis, yaitu :

- 1) Model Tanpa Distorsi (*Undistorted Model*)
- 2) Model Distorsi (*Distorted Model*)

2.12.1.1 Model Tanpa Distorsi (*Undistorted Model*)

Model tanpa distorsi merupakan model yang memiliki skala horizontal maupun vertical yang sama. Dalam hal ini akan dijabarkan perumusan beberapa parameter penting dalam suatu model aliran melalui saluran terbuka yang didasarkan pada skala geometrik (Priyantoro, 2016 : 10) :

1) Skala Luas dan Volume

Untuk luas digunakan rumus $A = L^2$, sehingga skala luas adalah :

$$n_A = n_L^2 \dots \dots \dots (2-2)$$

Sedangkan untuk volume digunakan rumus $V = L^3$, sehingga skala luas adalah :

$$n_V = n_L^3 \dots \dots \dots (2-3)$$

dimana :

n_L = skala geometrik

n_A = skala luas



n_v = skala volume

2) Skala Kecepatan

Adapun persamaan dari skala kecepatan diturunkan dari rumus berikut :

$$F_r = \frac{U}{\sqrt{gh}} \quad (2-4)$$

$$n_{F_r} = \frac{(F_r)_p}{(F_r)_m} = 1 \quad (2-5)$$

$$\left(\frac{U}{\sqrt{gh}}\right)_p = \left(\frac{U}{\sqrt{gh}}\right)_m \quad (2-6)$$

$$\frac{U_p}{U_m} = \left[\frac{g_p}{g_m} \times \frac{h_p}{h_m}\right]^{1/2} \quad (2-7)$$

$$n_u = n_g^{1/2} n_h^{1/2} \quad (2-8)$$

(dalam hal ini $n_g = 1$)

$$n_v = n_h^{1/2} \quad (2-9)$$

dimana :

n_v = skala kecepatan

n_h = skala tinggi

3) Skala Debit

Dalam perhitungan debit digunakan rumus :

$$Q = A.U \quad (2-10)$$

$$Q = b.h.U \quad (2-11)$$

Sehingga, didapat rumus skala debit adalah sebagai berikut :

$$n_Q = n_L \cdot n_h \cdot n_u \quad (2-12)$$

$$n_Q = n_L^2 \cdot n_h^{1/2} \quad (2-13)$$

$$n_Q = n_L^{5/2} \quad (2-14)$$



dimana :

n_Q = skala debit

n_L = skala geometrik

4) Skala Waktu Pengaliran

Dalam perhitungan debit digunakan rumus $= \frac{L}{v}$, sehingga, didapat rumus skala waktu pengaliran adalah sebagai berikut :

$$n_t = \frac{n_L}{n_u} \quad (2-15)$$

$$n_t = \frac{n_L}{n_L^{1/2}} \quad (2-16)$$

$$n_t = n_L^{1/2} \quad (2-17)$$

dimana :

n_t = skala waktu pengaliran

n_L = skala geometrik

2.12.1.2 Model Distorsi (Distorted Model)

Model tanpa distorsi merupakan model yang memiliki skala horizontal maupun vertical yang berbeda. Dalam konsep ini persoalan yang ada mengikuti persoalan pada model tanpa distorsi, dengan ketentuan sebagai berikut (Priyantoro,

2016 : 10) Apabila skala horizontal = n_L dan skala vertikal = n_h , maka :

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} \quad (2-18)$$

$$n_h = \frac{h_p}{h_m} \quad (2-19)$$

dengan :

n_L = skala horisontal

n_h = skala vertikal

L_p = panjang prototip

L_m = panjang model

h_p = tinggi prototip

h_m = tinggi model

Sedangkan untuk koefisien distrorsinya, dirumuskan sebagai berikut :

$$r = \frac{nL}{n_h} \dots \dots \dots (2-20)$$

dengan syarat $r > 4$.

1) Skala Luas dan Volume

Untuk persamaan skala luas digunakan:

$$n_A = \frac{A_p}{A_m} = \frac{b_p \cdot h_p}{b_m \cdot h_m} \dots \dots \dots (2-21)$$

$$n_A = n_L \cdot n_h \dots \dots \dots (2-22)$$

Sedangkan untuk volume digunakan persamaan :

$$n_V = \frac{V_p}{V_m} = \frac{L_p \cdot b_p \cdot h_p}{L_m \cdot b_m \cdot h_m} \dots \dots \dots (2-23)$$

$$n_V = n_L^2 \cdot n_h \dots \dots \dots (2-24)$$

dimana :

n_L = skala horisontal



n_h = skala vertikal

n_A = skala luas

n_v = skala volume

2. Skala Kecepatan

Adapun persamaan dari skala kecepatan sebagai berikut :

$$n_u = \frac{u_p}{u_m} = \left[\frac{h_p}{h_m} \right]^{1/2} \quad (2-25)$$

$$n_v = n_h^{1/2} \quad (2-26)$$

dimana :

n_v = skala kecepatan

n_h = skala vertikal

3. Skala Debit

Dalam perhitungan skala debit digunakan rumus berikut :

$$n_Q = n_A \cdot n_u \quad (2-27)$$

$$n_Q = n_L \cdot n_h \cdot n_h^{1/2} \quad (2-28)$$

$$n_Q = n_L \cdot n_h^{3/2} \quad (2-29)$$

dimana :

n_Q = skala debit

n_L = skala horizontal

n_h = skala vertikal

4. Skala Waktu Pengaliran

Dalam perhitungan skala waktu pengaliran digunakan rumus :



$$n_t = \frac{t_p}{t_m} = \frac{L_p U_p}{L_m U_m} \tag{2-30}$$

$$n_t = \frac{n_L}{n_v} \tag{2-31}$$

$$n_t = n_L \cdot n_h^{-1/2} \tag{2-32}$$

- dimana:
- n_t = skala waktu pengaliran
 - n_L = skala horizontal
 - n_h = skala vertikal

2.13 Dasar Teori dan Persamaan Dalam Model

2.13.1 Model Hidrodinamika

Model pola hidrodinamika dibangun dengan menggunakan MIKE 21 versi 2007 yang dikembangkan oleh DHI Water and Environment, Denmark. Persamaan yang digunakan pada model ini adalah persamaan kontinuitas dan persamaan momentum dengan perata-rataan kedalaman. Model ini menggunakan pendekatan metode beda hingga (*finite difference*) untuk menyelesaikan persamaan yang digunakan. Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- 1) Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial x} = \frac{\partial d}{\partial t} \tag{2-33}$$

- 2) Persamaan Momentum

Pada sumbu x

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{xy}) \right] - \rho_w f V_x = 0 \tag{2-34}$$



Pada sumbu y

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 h^2} \dots \dots \dots (2-35)$$

$$\frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] + \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (\rho_a) = 0 \dots \dots \dots (2-36)$$

Dimana:

- $h(x, y, t)$: water depth (= $\zeta - d$)
- $d(x, y, t)$: kedalaman yang bervariasi terhadap waktu
- $\zeta(x, y, t)$: surface elevation
- $p, q(x, y, t)$: flux densitas pada sumbu x dan y ($m^3/s/m$)=(uh, vh)
- u, v : kecepatan yang dirata-ratakan terhadap kedalaman pada sumbu x dan y
- $C(x, y)$: Chezy resistance ($m^{1/2}/s$)
- g : gravitasi (m^2/s)
- $f(V)$: faktor gesekan angin
- $V, V_x, V_y(x, y, t)$: kecepatan angin pada sumbu x dan y (m/det)
- $\Omega(x, y)$: parameter coriolis
- $\rho_a(x, y)$: tekanan atmosfer ($kg/m^2/det^2$)
- ρ_w : densitas air laut (kg/m^3)
- $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$: komponen shear stress efektif

Bed shear stress pada arah x dan y dapat dihitung dengan :

$$\tau_{bx} = \rho c_f U \sqrt{U^2 + V^2} \left[1 + \left(\frac{\partial z_b}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial z_b}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2-37)$$

$$\tau_{by} = \rho c_f V \sqrt{U^2 + V^2} \left[1 + \left(\frac{\partial z_b}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial z_b}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2-38)$$

dimana c_f adalah koefisien gesekan dan dapat dihitung sebagai berikut :

$$c_f = \frac{g}{C^2} = \frac{gn^2}{\lambda^2 H^{\frac{1}{3}}} \dots \dots \dots (2-39)$$

dimana

- C : Chezy Koefisien
- n : Manning Koefisien



λ : 1,486 untuk unit Inggris dan 1,0 untuk SI
 Kedalaman rata-rata gesekan turbulen dapat dihitung menggunakan konsep viskositas Eddy dari Boussinesq, yaitu :

$$\tau_{xx} = \rho \nu_{xx} \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial x} \right) \dots \dots \dots (2-40)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \rho \nu_{xy} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \dots \dots \dots (2-41)$$

$$\tau_{yy} = \rho \nu_{yy} \left(\frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial y} \right) \dots \dots \dots (2-42)$$

dimana, ν adalah $0,3 \pm 0,6 U^*H$
 V : Kecepatan arus pada arah y
 U : Kecepatan arus pada arah x

2.13.2 Transport Polutan

Modul Transport digunakan untuk pemodelan sebaran polutan, dalam studi ini polutan yang dimodelkan adalah suhu. Model sebaran polutan diselesaikan dengan persamaan adveksi-dispersi dengan mengasumsikan bahwa parameter polutan tersebut merupakan komponen konservatif. Persamaan adveksi-dispersi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t} (hc) + \frac{\partial}{\partial x} (uhc) + \frac{\partial}{\partial x} (vhc) = \frac{\partial}{\partial x} \left(h \cdot D_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \left(h \cdot D_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) - Fhc + S \dots \dots \dots (2-43)$$

- Dimana :
- c : konsentrasi polutan rata-rata terhadap kedalaman
 - u, v : kecepatan aliran yang dirata-ratakan terhadap kedalaman (m/s)
 - D_x, D_y : koefisien dispersi (m^2/s)
 - h : kedalaman (m)
 - F : koefisien peluruhan/pelarutan (sec-1)
 - S : $Q_s, (C_s - c)$
 - Q_s : debit polutan per satuan luas horizontal ($m^3/s/m^2$)
 - C_s : konsentrasi polutan dari debit



BAB III

KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Kerangka Pikir

Kerangka berpikir dalam suatu penelitian perlu dikemukakan apabila dalam penelitian tersebut berkenaan dengan dua variabel atau lebih. Apabila penelitian hanya membahas satu variabel atau lebih secara mandiri, maka yang dilakukan peneliti disamping mengemukakan deskripsi teoritis untuk masing-masing variabel, juga argumentasi terhadap variasi besaran variabel yang diteliti (Sapto Haryoko, 1999).

Secara umum, kerangka pikir merupakan suatu model konseptual tentang keterkaitan teori dengan beragam faktor yang telah diidentifikasi masalahnya.

Dalam penelitian ini, kerangka konsep disusun berdasarkan landasan teori yang

3.2 Kerangka Konsep Penelitian

Dalam pengaplikasiannya, instalasi-instalasi yang ada guna menurunkan suhu air limbah terproduksi migas dirasa sudah cukup efektif. Hanya saja, kondisi yang ada pada air limbah terproduksi PT. PetroGas (Basin), Ltd yang ada di Kabupaten Sorong terbilang unik. Yang mana kondisi suhu air setelah melewati pengolahan yang ada masih sangat tinggi dan belum memenuhi baku mutu air yang akan dibuang ke lingkungannya, yaitu lebih dari 45° C. Apabila kondisi ini dibiarkan secara terus-menerus, maka peningkatan suhu air tersebut dapat mengganggu biota sungai atau laut pula. Melihat kondisi yang ada, peneliti mencoba membuat suatu inovasi guna mencari solusi yaitu dengan menambahkan *sprinkler* pada unit pengolahan limbahnya.

Adanya pengembangan inovasi dalam suatu rekayasa pengelolaan air limbah migas terproduksi dirasa perlu, terlebih lagi pengembangan unit instalasi



yang memanfaatkan *sprinkler* dalam proses penurunan suhunya masih belum pernah diterapkan di Indonesia. Sehingga suatu pembaharuan memang perlu diterapkan, melihat kondisi yang ada di sekitar unit instalasi yang ada di Skimpit KMT masih memiliki wilayah yang cukup luas dengan memanfaatkan sifat alamiahnya serta cenderung sedikitnya biaya yang digunakan. Yang mana pada prinsipnya, *springkle* ini ditambahkan guna memperlama waktu tunggu serta memperbanyak kontak air panas tersebut dengan udara.

Untuk menguji keefektifan inovasi tersebut sebelum dilakukan adanya perubahan konstruksi dilapangan, maka perlu adanya pembuatan model fisik dengan skala yang lebih kecil guna menguji apakah inovasi tersebut dapat menurunkan suhu hingga mencapai baku mutunya atau tidak. Hal ini dimaksudkan agar biaya yang dikeluarkan bisa terminimalisir jika ternyata pengujian tersebut belum efektif.

Selain itu, untuk mengetahui dampak sebaran suhu air yang nantinya akan mengalir perlu kita lakukan simulasi permodelan dispersi suhu ke laut. Dari situ kita dapat mengetahui bagaimana dampak yang dihasilkan terhadap biota-biota yang ada di laut.

Setelah penelitian dilakukan, yaitu pembuatan model fisik dan sebaran disperse, selanjutnya dilakukan validasi oleh perusahaan yang bersangkutan.

Adanya keterkaitan antara suhu air limbah migas terproduksi yang tinggi, keterbaruan inovasi atau rekayasa teknologi, serta dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan menjadikannya memiliki suatu keterkaitan, yang mana mampu menjawab permasalahan yang ada. Berikut adalah diagram alir kerangka konseptual penelitian yang dilakukan :



3.4 Definisi Operasional Variabel

Variabel adalah konsep yang memiliki beragam nilai (Nazir, 1999).

Variabel merupakan suatu objek yang peneliti tentukan guna memperoleh informasi yang ia butuhkan untuk dipelajari sehingga mendapatkan suatu kesimpulan.

Sedangkan definisi operasional yakni suatu petunjuk bagi peneliti untuk memahami bagaimana cara mengukur suatu variabel. Menurut Nazir (1999), definisi operasional merupakan definisi yang diberikan pada suatu konstruksi dengan memanfaatkan konstruksi yang berbeda. Singkatnya, definisi operasional adalah informasi ilmiah yang perannya sangat dibutuhkan ketika ada peneliti lain yang ingin melakukan penelitian dengan variabel yang sama. Dan dari sini, peneliti lain bisa menentukan apakah ia harus menggunakan prosedur yang sama atau berbeda.

Tabel 3.1 Definisi Operasional Variabel Penelitian

No.	Variabel	Definisi Operasional	Cara dan Alat Ukur	Hasil Ukur	Skala
1	Sistem pengolahan air limbah terproduksi	Pengelolaan air limbah terproduksi sesuai dengan baku mutu air ke lingkungan	Ditinjau dari sistem pengolahan air limbah terproduksi yang ada	Hasil observasi	<i>Rating Scale</i>
2	Efektifitas sistem penurun suhu air limbah terproduksi	Tingkat keberhasilan atau keefektifan yang dicapai oleh sistem penurun suhu air limbah	Melakukan observasi langsung dan pengukuran di lapangan	Hasil observasi, hasil pengukuran	<i>Rating Scale</i>
3	Gangguan pada biota sungai atau laut oleh tingginya suhu air limbah terproduksi	Seberapa besar dampak yang diakibatkan oleh suhu tinggi terhadap keberlangsungan biota sungai atau laut	Melakukan observasi langsung dan pengukuran di lapangan, dokumentasi	Hasil observasi, hasil pengukuran, dan dokumentasi	<i>Semantic Defferensial</i>



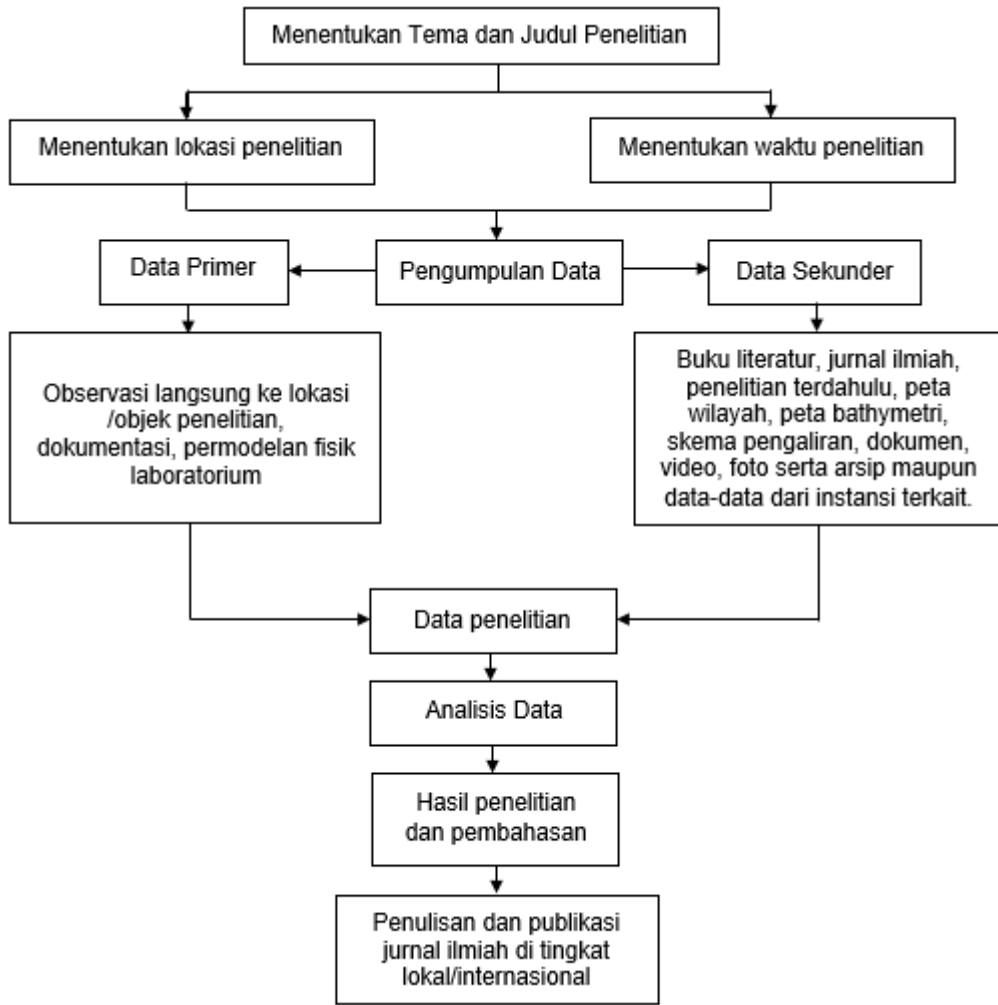
Lanjutan Tabel 3.1 Definisi Operasional Variabel Penelitian

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara dan Alat Ukur	Hasil Ukur	Skala
4	Peningkatan kualitas air lingkungan sekitar PT. Petrogas (Basin) Ltd	Pengendalian pencemaran lingkungan sekitar PT. Petrogas (Basin) Ltd	Wawancara dengan pengelola PT. Petrogas (Basin) Ltd, pengambilan sampel dan data sekunder dari pengelola	Hasil wawancara, data primer, data sekunder	Rating Scale
5	Inovasi sistem penurun suhu air limbah terproduksi	Segala jenis inovasi terkait penurunan suhu yang dilakukan oleh pihak pengelola	Wawancara dengan pengelola PT. Petrogas (Basin) Ltd, observasi, pengukuran dan dokumentasi langsung	Hasil wawancara, data primer, hasil observasi, dan dokumentasi	Rating Scale
6	Pembuatan model fisik dan model dispersi pada <i>outflow</i>	Peluang keberhasilan model fisik dan model dispersi untuk diaplikasikan di lapangan	Observasi, pengukuran dan dokumentasi langsung	Hasil observasi, hasil pengukuran, dokumentasi	Rating Scale

Sumber : Olahan Penulis, 2018



3.5 Kerangka Operasional Penelitian

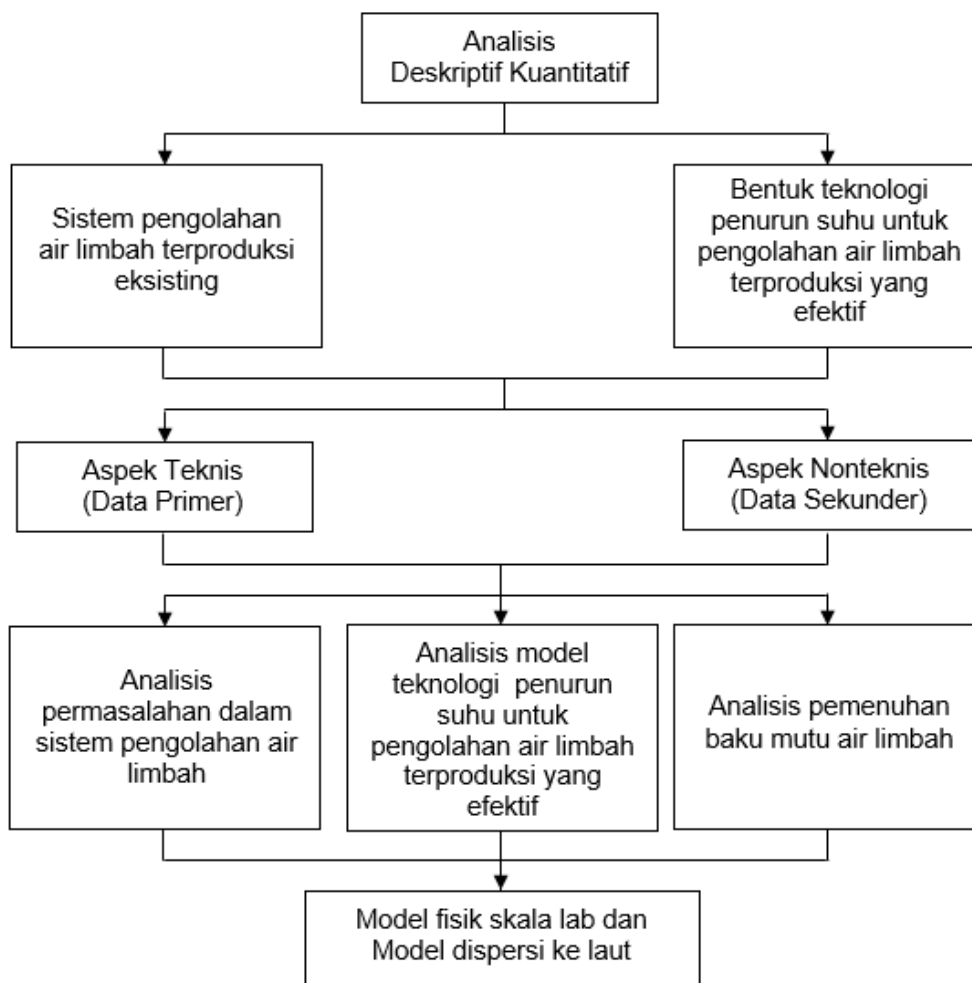


Gambar 3.2 Kerangka Operasional Penelitian

Sumber: Olahan Penulis, 2018



3.6 Kerangka Analisis



Gambar 3.3 Kerangka Analisis
Sumber : Olahan Penulis, 2018

3.7 Novelty Penelitian

Suhu air limbah hasil pengolahan air limbah terproduksi yang ada di PT. Petrogas (Basin) Ltd yang berada di Kabupaten Sorong ini berkisar antara 55–60 °C. Berbeda dengan suhu hasil pengolahan limbah migas yang ada di wilayah lainnya dengan suhu yang berkisar 20 – 30 °C, sesuai dengan ketentuan yang ada pada Permen LH No. 19 Tahun 2010 yaitu kurang dari 45 °C. Keunikan tersebut menjadikan penelitian ini memiliki nilai keterbaruan atau *novelty*.



Adapun keterbaruan yang dimaksud disini adalah adanya penggunaan *sprinkler* pada instalasi pengolahan air limbah terproduksi dalam bentuk model fisik menggunakan skala laboratorium yang sebelumnya belum pernah diteliti di Indonesia yang harapannya mampu memberikan kontribusi di bidang "**Water Treatment**" khususnya pada pengolahan limbah migas dalam model fisik sederhana berskala 1:40 yang tidak membutuhkan banyak biaya dengan memanfaatkan sifat alamiahnya dan efektif dalam proses penurunan suhu.



BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Pendekatan dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan untuk membuat model penurun suhu air limbah terproduksi yang lebih efektif. Dalam keadaan riil di lapangannya, suhu yang dihasilkan dari sistem pengolahan air limbah yang ada saat ini rasa masih belum mampu mencapai baku mutu airnya yang berkisar kurang dari 45°C.

Seringnya dilakukan pembongkar-pasangan konstruksi pengolahan limbah migas terproduksi yang dirasa lebih efektif di lokasi PT. Petrogas (Basin) Limited tanpa dilakukan permodelan atau uji coba terlebih dahulu, tentunya kan sangat memakan biaya yang tidak sedikit. Selain tidak efektif dan memakan biaya yang cukup besar, proses pembongkar-pasangan konstruksi tersebut akan menghambat proses produksi migasnya. Sehingga solusi yang merupakan alternatif terbaik untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan membuat suatu inovasi yang baru yaitu dengan membuat model instalasi penurun suhu air limbah produksi migas yang mampu memperlama waktu tunggu air limbah dan mengalami banyak kontak dengan udara ambien yang diuji terlebih dahulu dengan pembuatan model dalam skala laboratorium.

Pemahaman terhadap karakteristik hidrolika lokasi perairan terutama lokasi *outlet* Perusahaan dalam dilakukan dengan melakukan simulasi model. Model tersebut setelah diperiksa dan disesuaikan dengan kondisi dilapangan atau dikalibrasi dengan kondisi yang sudah ada, dipakai analisis pola arus dan temperatur.



1) Interaksi pola arus dan temperatur

Untuk memahami pola arus disekitar daerah studi yang berdekatan dengan area *jetty* yang sudah ada. Pola arus dipengaruhi oleh pasang surut dan angin serta bentuk geografis daerah pantai lokasi studi dan selanjutnya pemahaman tentang pola distribusi temperatur.

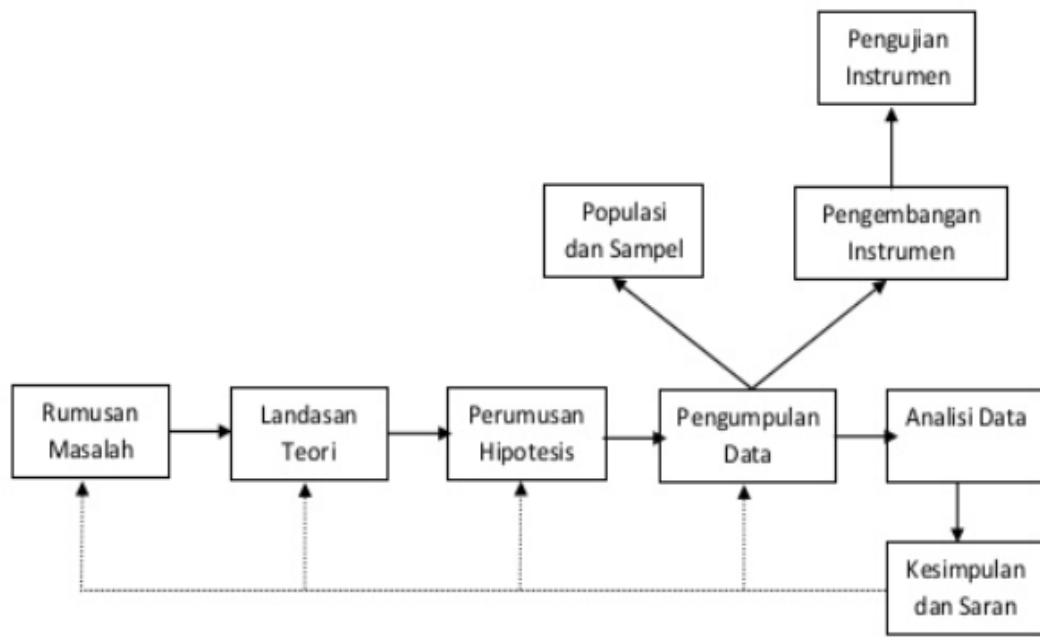
2) Sebaran temperatur

Distribusi temperatur dipengaruhi oleh mekanisme pengaliran medium (dalam hal ini air), mekanisme dispersi dan mekanisme transfer panas (pertukaran panas terutama ke udara). Mekanisme pengaliran panas ditentukan oleh kecepatan aliran yang membawanya. Dalam pendekatan dua dimensi, parameter aliran adalah kecepatan horisontal rata-rata (*depth averaged*). Mekanisme dispersi atau difusi diakibatkan oleh adanya turbulensi aliran dan distribusi vertikal yang tidak seragam. Parameter dari mekanisme ini yang dinyatakan dalam koefisien dispersi dapat didekati dari parameter yang paling berpengaruh pada turbulensi dan distribusi vertikal kecepatan. Dalam hal ini parameter tersebut adalah tegangan geser dasar. Parameter ini merupakan fungsi kedalaman, kecepatan dan kekasaran dasar aliran sedangkan mekanisme transfer panas dianalogikan sebagai *sink* dalam mekanisme *transport* polutan.

Berdasarkan uraian diatas, guna menjawab tujuan penelitian tersebut, digunakanlah pendekatan kuantitatif. Pendekatan kuantitatif merupakan pendekatan yang berlandaskan filsafat positivisme, digunakan untuk meneliti suatu populasi atau sampel tertentu, pengumpulan datanya menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat kuantitatif/statistik, dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditentukan (Sugiyono, 2016).



Pendekatan kuantitatif lebih menitik beratkan pada suatu permasalahan yang objek penelitiannya sudah jelas. Menurut Sugiyono (2016), permasalahan yang dimaksud disini yaitu suatu penyimpangan antara yang seharusnya terjadi, antara aturan dengan pelaksanaan, antara teori dengan praktek, maupun anatara rencana dengan penelitian.



Gambar 4.1 **Komponen dan Proses Penelitian Kuantitatif**

Sumber : Sugiyono, 2016

Dari gambar 4.1, dapat kita ketahui bahwa setiap permasalahan merupakan awal dari sebuah penelitian. Dan untuk pendekatan kuantitatif ini, permasalahannya harus sudah jelas. Masalah yang ada kemudian diidentifikasi lalu dibatasi, untuk kemudian dirumuskan. Dari rumusan masalah tersebut, peneliti harus mengumpulkan teori-teori untuk menjawabnya. Jawaban atas permasalahan diatas yang berdasarkan teori dinamakan hipotesis, yang berarti jawaban sementara.

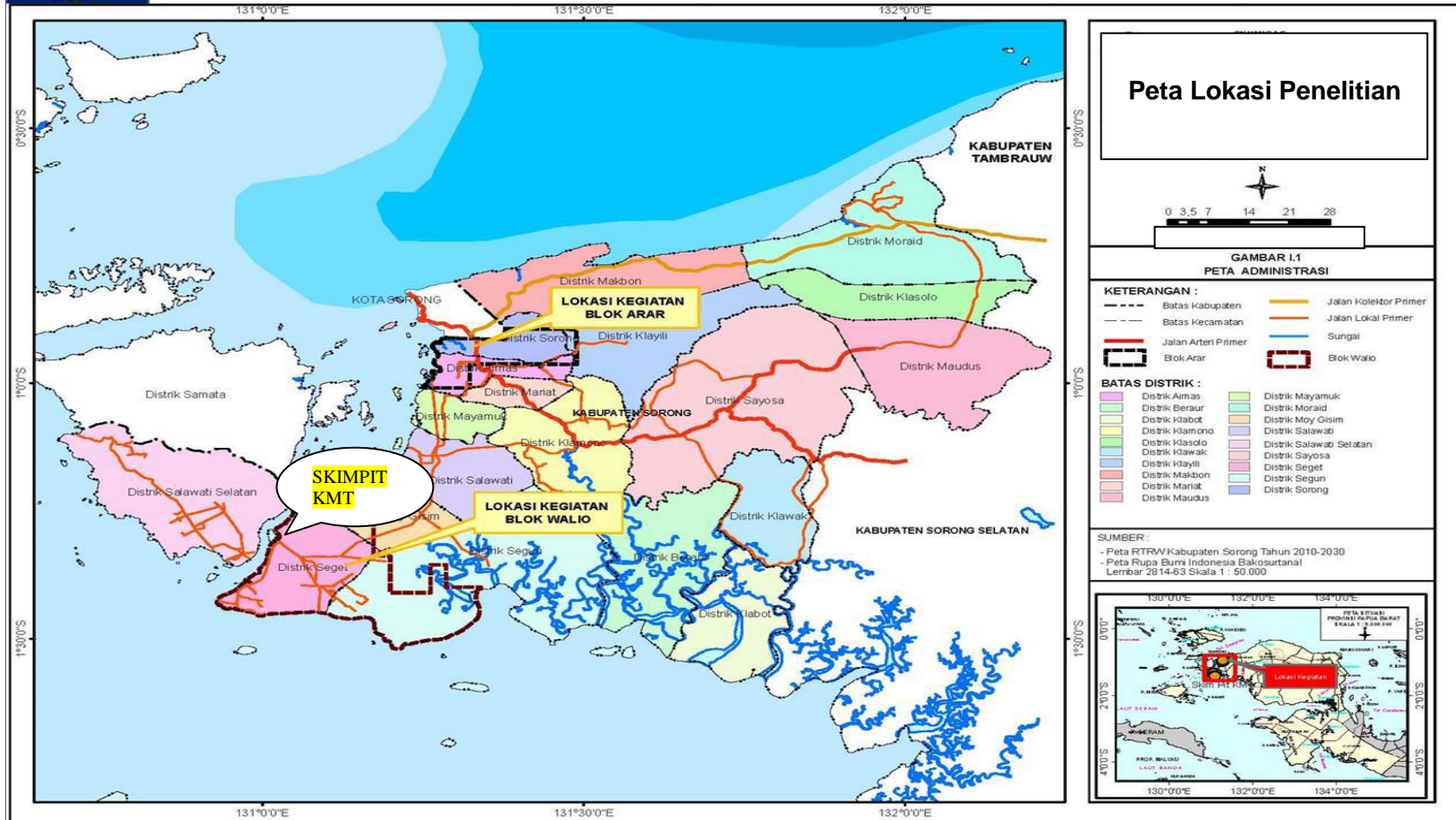


Setelah adanya hipotesis, peneliti harus melakukan pengumpulan data guna menunjang penelitiannya. Agar hasil yang diteliti akurat, maka perlu dilakukan instrumentasi penelitian untuk menguji tingkat kepercayaan, validitas, dan reliabilitasnya.

Jika data telah terkumpul, maka perlu kita analisis guna menjawab rumusan masalah dan hipotesis yang sebelumnya sudah ditentukan. Data hasil analisis tersebut, kemudian disajikan dalam bentuk pembahasan. Bentuk penyajian datanya pun juga bervariasi, diantaranya : tabel, tabel distribusi frekuensi, grafik batang, grafik garis, pictogram maupun *pie chart*. Pembahasan inilah yang merupakan intepertasi dari data-data yang kita sajikan tadi. Dan selanjutnya, barulah diambil kesimpulannya.

4.2 Lokasi Penelitian

Lokasi dalam penelitian ini berada di Wilayah Operasi Walio Petrogas (Basin) Limited, Kabupaten Sorong, Provinsi Papua Barat, tepatnya pada Skimpit KMT yang kemudian dibuat *prototype*-nya berupa model fisik suatu bak penurutan suhu air dengan konsep *spray pond* dan *cooling pond* yang sesuai dengan kondisi lapangan tepatnya di Laboratorium Tanah dan Air Tanah, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini:



Gambar 4.2 Lokasi penelitian pada *Skimp Pit* KMT
Sumber: Data Sekunder, 2018



Produced Water Pond

Gambar 4.3 Lokasi Skimpit KMT
Sumber : Data primer, 2018

4.3 Waktu Penelitian

Kegiatan penelitian ini direncanakan akan berlangsung selama 15 bulan, dimulai dari bulan Mei 2018 sampai bulan Juli tahun 2019. Berikut ini adalah *schedule* yang telah dibuat terhitung mulai kegiatan persiapan sampai publikasi jurnal ilmiah :

Tabel 4.1 Jadwal Rencana Penelitian

No.	Tahapan dan Rincian Kegiatan	Bulan ke-															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1.	Penyusunan Proposal	■	■														
2.	Ujian Kualifikasi			■													
3.	Penyusunan Desain Penelitian (Daftar Pertanyaan/Pedoman Pertanyaan dan instrument analisis data)			■	■												
4.	Persiapan Pekerjaan Lapangan: (pengumpulan data lapangan)			■	■	■											
5.	Pengumpulan Data:																
	• Pengumpulan Data Primer (Wawancara dan Arsip)																
	• Pengumpulan Data Sekunder																
	Kompilasi Data											■					
	Analisis Data											■	■				
	Penulisan Draft Disertasi													■			
	Seminar Jurnal 1														■		
10.	Sidang Komisi Hasil															■	
11.	Ujian Kelayakan																■
12.	Ujian Akhir Disertasi																■



4.4 Objek Penelitian

Teknik sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah Teknik *Sampling Purposive*, yang mana merupakan teknik penentuan sampel dengan menggunakan suatu pertimbangan tertentu. Pada dasarnya, teknik sampel jenis ini memang sangat cocok untuk penelitian yang sifatnya tidak mengeneralisir. Adapun objek yang di teliti dalam penelitian ini adalah efektifitas penurunan suhu air limbah terproduksi dengan suatu model yang menggunakan prinsip *cooling tower*.

4.5 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran langsung di lapangan dan berdasarkan data sekunder dan primer yang dibutuhkan. Metode pengumpulan data dimaksudkan adalah sebagai penunjang penelitian ini. Untuk pengambilan datanya sendiri, dilakukan dalam pengambilan data di lapangan dan juga pengambilan data hasil *running* model fisik yang ada di laboratorium.

Data yang akan diteliti nantinya akan dideskripsikan melalui perhitungan dan model persebaran suhu air limbah. Setelahnya, data tersebut diolah berdasarkan hasil pengambilan beberapa data yang berada di darat dan laut.

Untuk area darat merupakan lokasi pengolahan air limbah panas dan untuk yang di laut merupakan outlet dari air limbah.

4.5.1 Data Sekunder

Data sekunder yaitu data yang diperoleh secara tak langsung. Data ini didapatkan melalui instansi terkait maupun pembelian data. Adapun data yang dimaksud disini adalah sebagai berikut :

- 1) Data topografi Kabupaten Sorong.



- 2) Peta wilayah Kabupaten Sorong.
- 3) Volume Air Terproduksi.
- 4) Data Pergerakan Angin dan Arus di sekitar PT. Petrogas (Basin) Ltd.
- 5) Skema Pengaliran Skimpit KMT.
- 6) *Plan and Detail Cooling System*.

4.5.2. Data Primer

Data primer didapatkan langsung melalui hasil pengamatan dan pengukuran selama proses penelitian berlangsung, baik pada kondisi eksisting maupun pada model fisik atau *prototype* yang telah dibuat. Sehingga didapatkan data yang sesuai dengan kondisi eksistingnya. Adapun data primer yang diperoleh, diantaranya Ukuran Skimpit dan *Cooling Pond*. Data pengukuran suhu dan riil pada instalasi Skimpit KMT dan *outlet*-nya.

- 1) Data pengukuran suhu hasil *running* model fisik
- 2) Data klimatologi lokasi *prototype*
- 3) Foto lokasi eksisting dan *prototype*
- 4) Data pasang surut, kualitas air, dan keanekaragaman biota perairan Sungai Wakanway
- 5) Koordinat Lokasi Penelitian
- 6) Peta *Bathymetri*

Berikut adalah jenis dan sumber perolehan data di lapangan dalam tabel :

Tabel 4.2 Jenis dan Sumber Perolehan Data Lapangan

No.	Data	Jenis Data	Sumber Data
1	Kualitas air	Data primer	Pengambilan sampel dan analisis lab
2	Penutupan terumbu karang	Data primer	Pengamatan langsung (SCUBA)
3	Penutupan lamun	Data primer	Pengamatan langsung
4	Penutupan mangrove	Data primer	Pengamatan langsung
5	Keanekaragaman plankton	Data primer	Pengambilan sampel dan analisis lab

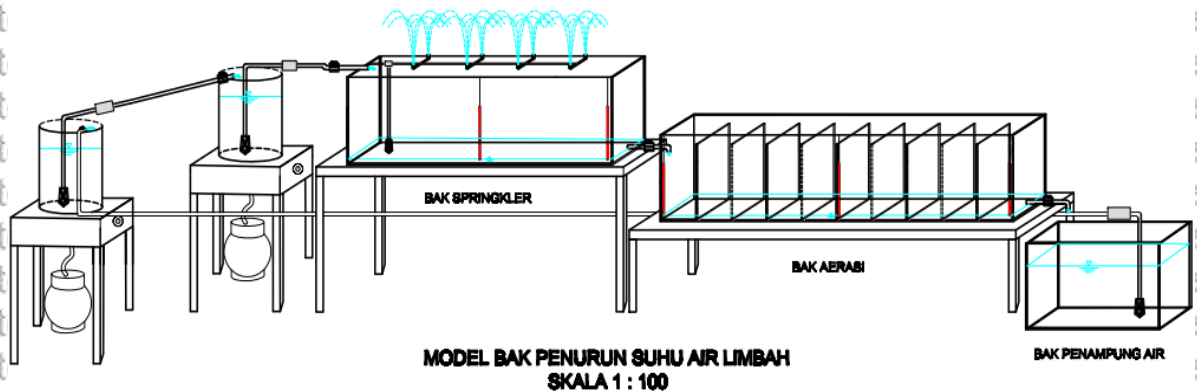
No.	Data	Jenis Data	Sumber Data
6	Keanekaragaman benthos	Data primer	Pengambilan sampel dan analisis lab
7	Pasang Surut	Data primer	Pengukuran
8	<i>Bathymetri</i>	Data primer	Pengukuran langsung
9	Suhu permukaan laut dan daratan	Data primer	Pengukuran
10	Ukuran Skimpit dan <i>Cooling Pond</i>	Data primer	Pengukuran langsung
11	Arus	Data sekunder	Model
12	Angin	Data sekunder	Unduh dari ECMWF
13	<i>Plan and detail cooling system</i>	Data sekunder	Petrogas
14	Volume air terproduksi	Data sekunder	Petrogas

Sumber : Data Primer dan Sekunder, 2018

4.6 Permodelan Fisik Skala Laboratorium (area Darat)

4.6.1 Ilustrasi Model

Dari permasalahan yang ada, dibuat suatu inovasi berupa penambahan bak penurun suhu yang harapannya dapat meningkatkan presentase efektifitas penurunan suhu air limbah terproduksi sebelum dibuang ke laut yang dituangkan dalam bentuk Model Fisik dalam skala laboratorium. Adanya model fisik ini guna menguji seberapa besar efektifitas inovasi tersebut sebelum diaplikasikan di lapangan. Pembuatan bak dengan sprinkle dan aerasi menggunakan bahan akrilik yang mampu menahan panas hingga lebih dari 100 °C. Adapun Ilustrasi dari Model Fisik yang dibuat adalah sebagai berikut :



Gambar 4.4 Ilustrasi Model Fisik

Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2018

Berikut adalah deskripsi ilustrasi model fisik yang direncanakan sebagaimana gambar di atas:

- 1) Debit air terproduksi hasil dari Skimpit KMT adalah 70.000 BWPD dan saat ini lebih besar menjadi 200.000 BWPD per April 2018, sehingga yang dijadikan dasar modeling dalam disertasi ini 200.000 BWPD atau setara dengan $0,36 \text{ m}^3/\text{detik}$. Adapun suhu setelah dikonversikan ke dalam skala model menjadi $0,36 \text{ ml}/\text{det}$. Dan ukuran tandon didesain untuk bisa memenuhi volume air terproduksi tersebut.
- 2) Ukuran bak dengan penambahan 8 springkel, direncanakan berukuran $1 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$ dan untuk bak aerasi atau bak kedua, direncanakan berukuran $1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ dengan tinggi masing-masing bak adalah $0,45 \text{ m}$. Untuk menjaga aliran debit yang berlangsung terus menerus sebagaimana kondisi yang ada di lapangan digunakan pompa. Untuk pompa yang digunakan adalah pompa berkapasitas 4 liter/menit.
- 3) Skala yang digunakan dalam model fisik ini adalah $1 : 40$, dimana penentuan skala yang digunakan dalam penelitian ini mempertimbangkan beberapa hal, yaitu biaya, waktu, kapasitas pompa, serta yang tak kalah penting adalah keterbatasan ruang tempat model fisik tersebut.

4.6.2 Instrumen Penelitian

Terdapat beberapa instrumen penelitian yang digunakan selama penelitian dilakukan. Adapun instrument penelitian yang digunakan akan dibedakan menjadi dua, yaitu untuk model fisik skala lab dan untuk model dispersi suhu ke laut.

4.6.2.1 Model Fisik Skala Lab

Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan dalam pengambilan data selama penelitian berlangsung, diantaranya :

- 1) *Temperature Humidity Meter*

Digunakan untuk mendapatkan data suhu tempat penelitian dan kelembapan.



Gambar 4.5. *Thermometer and Humidity Meter*
Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2018

- 2) *Pompa Air*

Digunakan untuk mengalirkan dan menjaga tekanan air.



Gambar 4.6. *Pompa Air*
Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2018

- 3) *Stopwatch*



Digunakan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan selama proses *running model*.



Gambar 4.7. **Stopwatch**
Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2018

4) **Gelas Ukur**

Digunakan untuk memastikan apakah debit yang mengalir terjaga kestabilannya atau tidak.



Gambar 4.8. **Gelas Ukur**
Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2018

5) **Anemometer**

Digunakan untuk mengukur kecepatan angin sekitar.



Gambar 4.9. **Anemometer**
Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2018

6) **Tong dan Kompor**

Tong dalam penelitian ini difungsikan sebagai pengganti tandon. Dan kompor digunakan untuk memanaskan air hingga mencapai suhu 60° C.

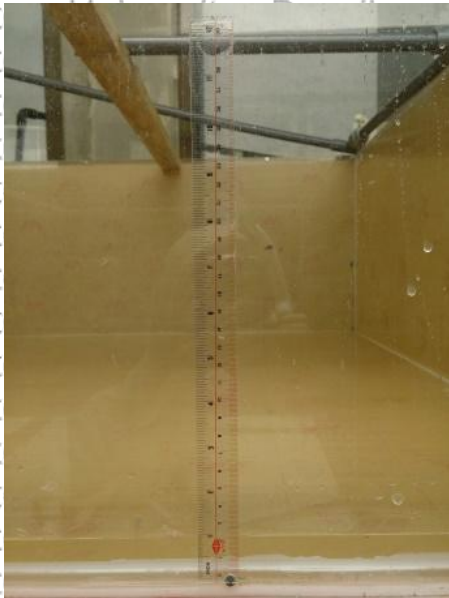


Gambar 4.10. **Tandon Air dan Kompor**
Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2018



7) Mistar

Mistar bertujuan untuk mengukur tinggi air selama penelitian berlangsung



Gambar 4.11. Mistar dan Bak

Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2018

8) Termometer

Termometer digunakan untuk mengukur suhu di dalam bak springkler dan bak aerasi sebelum dan sesudah air dialirkan.



Gambar 4.12. Termometer



Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2018

4.6.2.2 Model Transport Polutan

Sebelum adanya pengolahan data menggunakan software *DHI Mike 21* perlu adanya pengumpulan-pengumpulan data biota perairan. Adapun pengumpulan data masing-masing biota tersebut menggunakan alat-alat sebagaimana dijabarkan pada gambar-gambar dibawah ini.

1. Lamun



Tali tambang



Rol Meter



Termometer



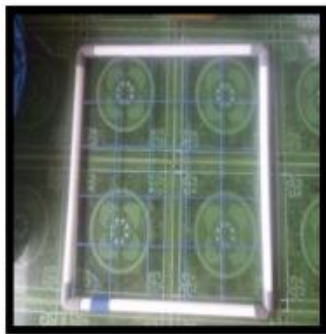
Buku identifikasi



Buku dan alat tulis



GPS



Kuadaran lamun



Kamera bawah air

Gambar 4.13. Alat Ukur Lamun

Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2018

2. Mangrove



Tali tambang



Rol Meter



Termometer



Buku identifikasi



Buku dan alat tulis



GPS



Meteran jahit



Kamera

Gambar 4.14. Alat Ukur Mangrove

Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2018



Hydraulic Institute (DHI) Water and Environment yang ada di Denmark ini menggunakan model numerik dalam konsep permodelannya. Di dalam model DHI MIKE mencakup beberapa paket model. Dalam studi ini digunakan satu model, yaitu DHI MIKE 21 Flow Model-FM yang merupakan paket pemodelan 2 dimensi dengan pendekatan elemen hingga (*finite element*).

4.6.2.2.1 Data Inputan Model

Dalam permodelan tersebut, ada beberapa data yang perlu diinputkan ke dalam aplikasi DHI Mike 21 untuk mengetahui model persebaran polutan keperairan, diantaranya:

a. **Bathymetri**

Data Input model terdiri dari data forcing model yaitu angin, suhu udara, tekanan udara, precipitasi dan evaporasi pada normal bulan Januari dan Juli.

Data batimetri diperoleh dari Peta Elektronik ENC produk Dishidros TNI-AL. Kemudian dilakukan digitasi garis pantai dan kontur kedalaman untuk menghasilkan data inputan model. Dalam studi ini area pemodelan hidrodinamika dibuat seluas mungkin atau sejauh mungkin dengan area *interest*, tujuannya adalah untuk mendapatkan aliran batas terbuka pasang surut secara benar dan memperoleh kestabilan model yang baik di area *interest*.

Lokasi yang menjadi area interest dalam kajian ini adalah di sekitar lokasi pembuangan limbah cair. Selanjutnya dikarenakan dalam studi ini pendekatan numerik yang digunakan adalah metode *finite element* (metode elemen hingga), maka area model dibagi dalam bentuk segitiga kecil kemudian diterapkan ke dalam bentuk diskritisasi. Elemen-elemen yang digunakan dalam studi ini dibuat bervariasi ukurannya dengan tujuan untuk mengurangi lama perhitungan dalam simulasi komputer. Ukuran

elemen yang detail dibuat di area interest (area pembuangan limbah), sedangkan untuk elemen yang lokasi yang jauh dari wilayah kajian dibuat ukuran besar.

b. Pasang Surut

Data pasang surut yang digunakan adalah data ramalan dari AG95 (updated to Andesen 2006) yang dikembangkan oleh Ole Baltazar Andersen. Model ini merupakan suatu model peramalan pasang surut global dengan resolusi $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ yang merupakan data asimilasi dari data TOPEX/Poseidon dengan menggunakan pendekatan finite element. Lokasi pemodelan pada studi ini akan menggunakan 2 batas terluar pasang surut dari utara dan selatan. Data pasut yang digunakan merupakan data pasut bulan Januari (mewakili musim barat) dan data pasut bulan Juli (mewakili musim timur).

c. Angin

Data angin masukan model diperoleh dari *ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)*. Data angin yang digunakan meliputi data angin Musim Timur (Mei - September 2019) dan data angin Musim Barat (Oktober - April 2019) yang berkisar antara 0,1 hingga 0,8 m/s ke arah Utara.

4.6.3 Running Model

4.6.3.1 Model Fisik Skala Lab

Berikut adalah petunjuk pengoperasian pengambilan data pada model fisik:

Model fisik berskala 1:40 berdasarkan kondisi nyata di lapangan, dilakukan uji *running* menggunakan 2 kolam dengan bantuan sprayer dengan jumlah 2,4,6, dan 8 springkler mengarah ke atas. Mulanya air dalam tandon dipanaskan hingga suhu mencapai 60°C , kemudian air dalam tandon dengan

suhu tersebut dipompa untuk dialirkan menuju bak springkler. Debit yang dialirkan oleh pompa yaitu 0,36 ml/det.

Air didalam bak springkler ditunggu hingga mencapai ketinggian 1,5 cm. Jika dihitung dengan kemampuan pompa berkapasitas 4 l/menit dalam mengalirkan air, volume yang didapat dengan ketinggian 1,5 cm dalam waktu 11,5 menit tersebut merupakan kondisi ideal untuk mengalirkan air dengan debit 0,36 ml/det. Air yang dipompa tersebut akan dialirkan menuju springkler yang dihubungkan dengan rangkaian pipa PVC dan springkler tersebut nantinya akan memancarkan air ke udara dan turun kembali jatuh ke dalam bak springkler.

Selanjutnya, tunggu hingga air di dalam bak springkler mencapai ketinggian 3 cm yang mana ketinggian tersebut membutuhkan waktu dari 0 hingga 23 menit untuk mencapai kestabilan tinggi air setinggi 3 cm dari dasar bak springkler sebelum dialirkan menuju bak aerasi.

Pada menit ke-23 akhir ketika air telah mencapai kestabilan tinggi air senilai 3 cm, katup yang menghubungkan bak springkler dan bak aerasi dibuka dengan *setting*-an debit sebesar 0,36 ml/det. Air akan mengalir dari *outlet* bak springkler mengisi bak aerasi. Adapun katup yang merupakan *outlet* bak aerasi yang terhubung dengan saluran pembuangan dibuka dengan bukaan penuh.

Kondisi stabil air akan akan diketahui jika pembacaan besaran debit pada outlet bak aerasi tersebut sebesar 0,36 ml/det. Mulai dari menit 23 akhir tersebut dilakukan pengambilan data setiap 5 menit sekali dimulai dari menit ke-23 hingga mencapai kestabilan debit pada *outlet* bak aerasi. Pengambilan data yang dilakukan berupa data pengukuran suhu air dari termometer 1 dan 2 yang ada di bak springkler dan pada termometer 3,4, dan 5 yang ada di dalam bak aerasi,



serta tinggi muka air pada masing-masing bak. Selain itu, lakukan pengukuran untuk kondisi klimatologi lingkungan sekitar model fisik berada.

Pengukuran yang dilakukan dalam kegiatan penelitian ini, kemudian dituangkan dalam suatu blangko pengukuran berikut :

Hasil Pengukuran *Running* Permodelan ke...

Pengamat :
 Tanggal Pelaksanaan :
 Cuaca : Titik Embun : °C
 Suhu Udara : °C Angin : km/J
 Tekanan : kPa Kelembapan : %
 Suhu Termometer dalam bak : °C Suhu Sample : °C
 Kondisi :

Bak Sprinkle

Tabel 1. Pembacaan Bak Sprinkler

No.	Variabel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Menit ke-										
2	Debit (ml/det)										
3	Thermo 1 (°C)										
4	Thermo 2 (°C)										
5	h air (cm)										
6	Kecepatan Aliran (cm/det)										

Sumber : Hasil Pengukuran

Bak Aerasi

Tabel 2. Pembacaan Bak Aerasi

No.	Variabel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Menit ke-										
2	Debit (ml/det)										
3	Thermo 3 (°C)										
4	Thermo 4 (°C)										
5	Thermo 5 (°C)										
6	h air (cm)										
7	Kecepatan Aliran (cm/det)										

Sumber : Hasil Pengukuran

Malang, / /

Supervisor

Pengamat

Gambar 4.16. **Tabel Pengukuran**
 Sumber : Draft Pengukuran, 2018



4.6.3.2. *Scenario Permodelan Transport Polutan*

Setelah hasil dari model fisik skala laboratorium memenuhi syarat yaitu suhu dibawah 45°C , kemudian hasil tersebut di konversi ke skala riil. Adapun software yang digunakan untuk mengolah data tersebut adalah DHI MIKE 21 Flow Model FM.

4.6.3.2.1. Hidrodinamika

Hidrodinamika akan disimulasikan pada bulan Januari (mewakili musim barat) dan bulan Juli (mewakili musim timur) dengan tujuan untuk memperoleh pengaruh musiman, selain itu karena lokasi studi terletak di selat pasang surut harus di perhitungkan sehingga simulasi akan dilakukan selama 9 hari dengan asumsi akan diperoleh pasang tertinggi dan surut terendah, karena pada kondisi-kondisi tersebut biasanya pola arus di pesisir sangat dipengaruhi besaran magnitudonya. Hasil model akan disajikan dalam 4 kondisi pasang surut, yakni menjelang pasang, saat pasang, menjelang surut, dan saat surut.

4.6.3.2.2. Pemodelan Polutan

Pemodelan Polutan disimulasikan 2 musim dengan lama simulasi 9 hari. Parameter utama yang digunakan sebagai input pemodelan, yakni koordinat buangan, debit buangan dan konsentrasi parameter polutan yaitu suhu.

4.6.3.2.3. Skenario Model

Terdapat 4 buah skenario model, yaitu:

1. Animasi Skenario Pemodelan dengan Kolam Eksisting pada Kondisi Normal Januari.
2. Animasi Skenario Pemodelan dengan Kolam Eksisting pada Kondisi Normal July.
3. Animasi Skenario Pemodelan dengan Kolam dari Model Fisik pada Kondisi Normal Januari.

4. Animasi Skenario Pemodelan dengan Kolam dari Model Fisik pada Kondisi Normal July.

Dari beberapa skenario tersebut akan dilakukan perbandingan dan akan dianalisis dengan pola perlakuan:

1. Kondisi pada saat menjelang pasang musim barat dan timur
2. Kondisi pada saat pasang tertinggi musim barat dan timur
3. Kondisi menjelang surut musim barat dan timur
4. Kondisi surut terendah musim barat dan timur

Tabel 4.3. **Skenario Model**

Lokasi		Outfall 1 (existing)	Outfall 2 (Fisik kolam)
Koordinat	Bujur	131,023999	131,022684
	Lintang	-1,313585	-1,311688
Debit (m³/hari)	Musim Barat	0,36 m ³ /s	0,36 m ³ /s
	Musim Timur	0,36 m ³ /s	0,36 m ³ /s
Parameter	Temp (°C)	60°C	33,5°C

Sumber: Data Input Model, 2018

Data tersebut yang nantinya akan dijadikan input untuk model dispersi suhu ke laut. Adapun software yang digunakan untuk mengolah data tersebut adalah DHI MIKE 21 Flow Model FM. Di dalam paket model ini terdapat beberapa modul untuk menyelesaikan permasalahan yang ada pada lingkungan perairan tersebut. Modul yang ada diantaranya yaitu :

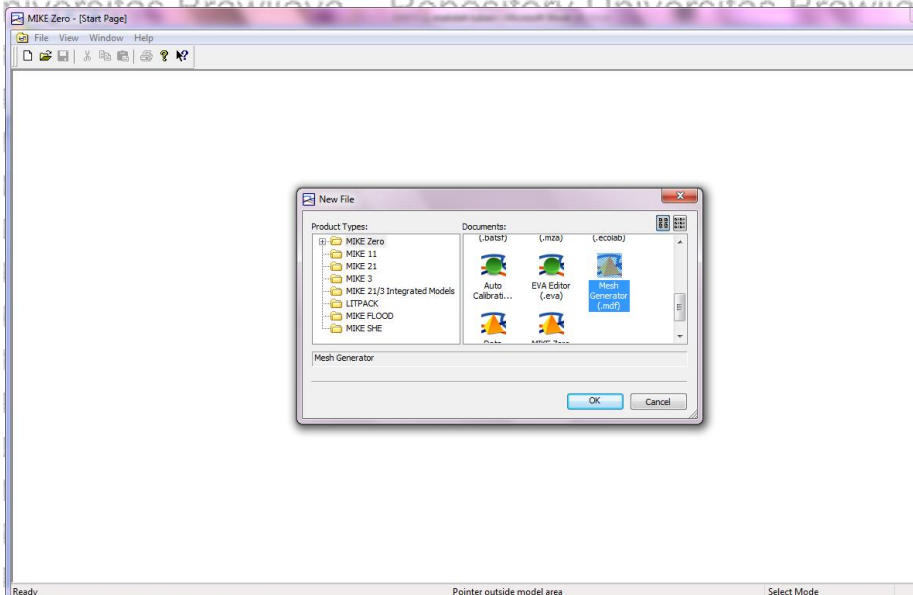
- 1) Modul hidrodinamika (HD) guna menyelesaikan hidrodinamika perairan (sirkulasi arus),
- 2) Modul Mud Transport (MT) guna menyelesaikan dinamika sedimen ketika masuk pada area perairan, dan

3) Modul Transport guna menyelesaikan sebaran polutan yang masuk ke dalam perairan atau area laut.

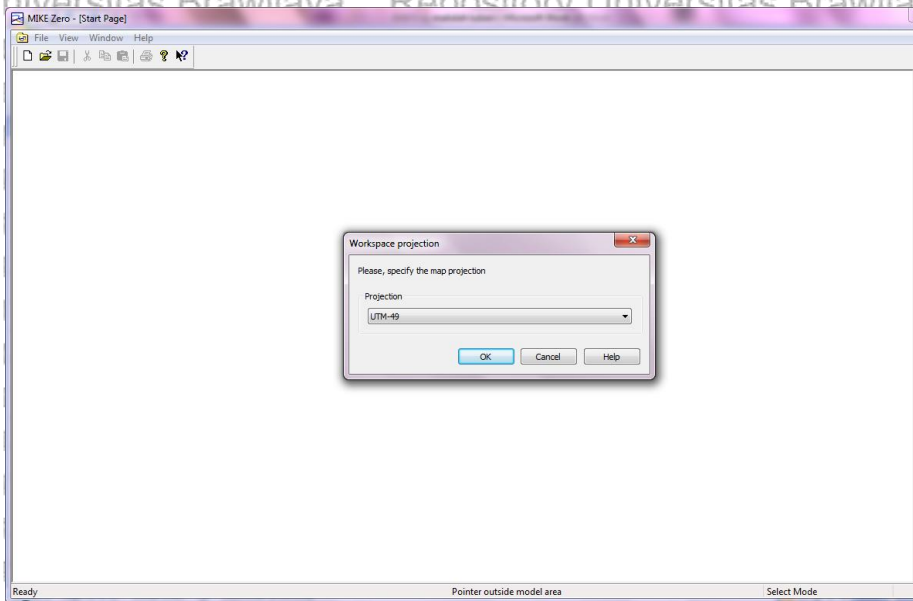
Adapun langkah-langkah dalam penggunaan software DHI MIKE 21 adalah sebagai berikut :

Step 1 : Pembuatan Mesh

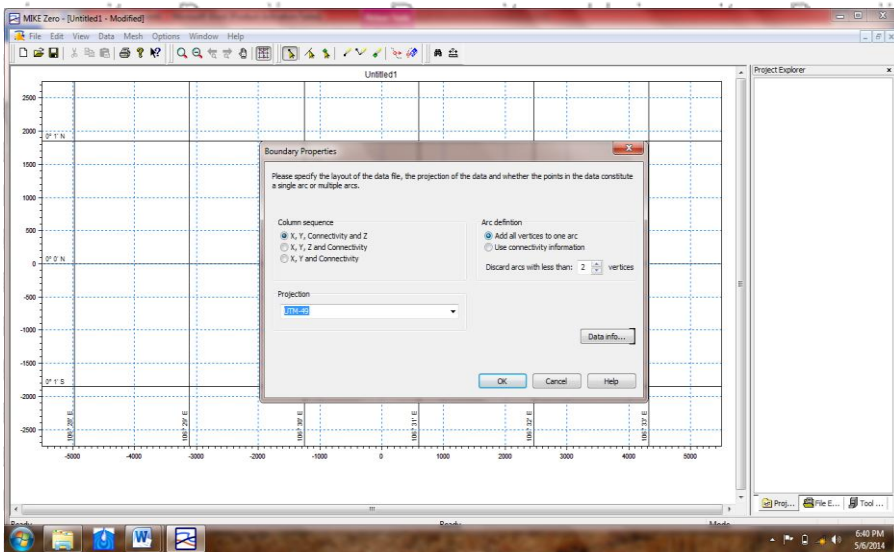
(1) Buat *grid* atau *mesh* dengan memilih menu *mesh generator* pada *tools* file pada bagian Mike Zero



(2) Pada *workspace projection* tentukan UTM Zone sesuai dengan lokasi tempat kajian studi tersebut

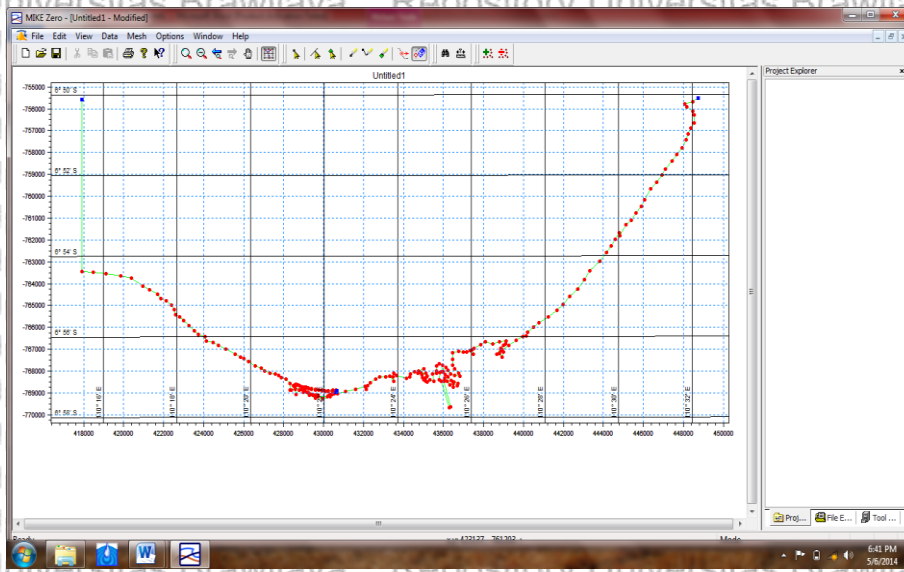


- (3) Masukkan data digitasi garis pantai yang sudah ada, kemudian akan muncul tampilan seperti dibawah ini

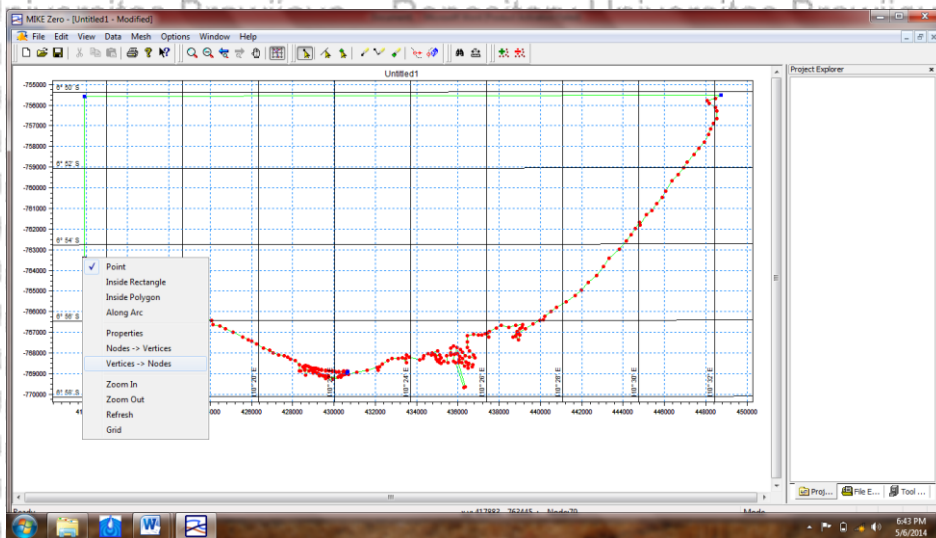


- Dan pada *arc definition* pilih *add all vertice* untuk memilih semua hasil digitasi software mappingnya.

- (4) Selanjutnya akan muncul tampilan digitasi garis pantai sebagai berikut :

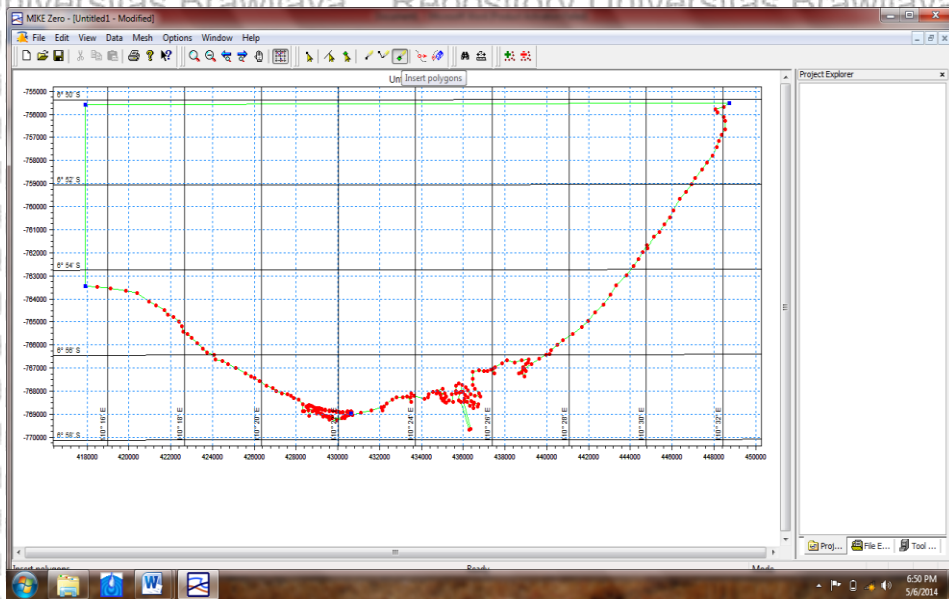


- (5) Ubah *point-vertex* menjadi *node* untuk menentukan batas akhir dari area digitasi pada peta

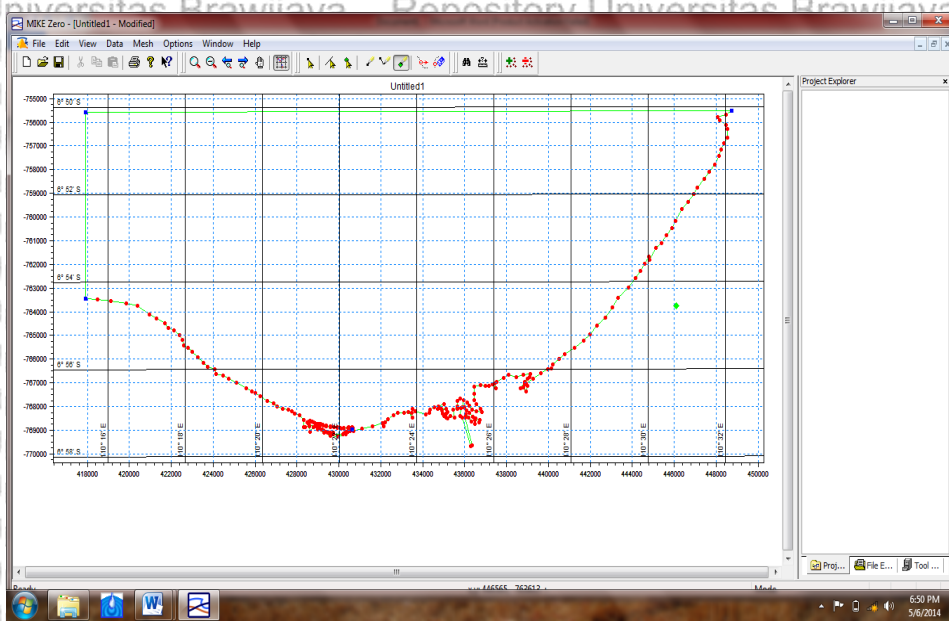


- (6) Untuk membedakan bagian darat dan laut, maka *insert polygon* pada bagian dalam pulau



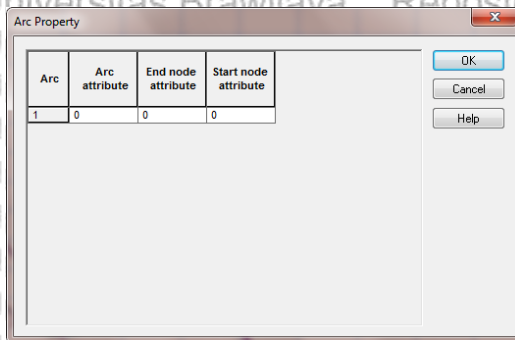


(7) Zoom digitasi pulau tersebut dan buat titik tengah pada pulau tersebut

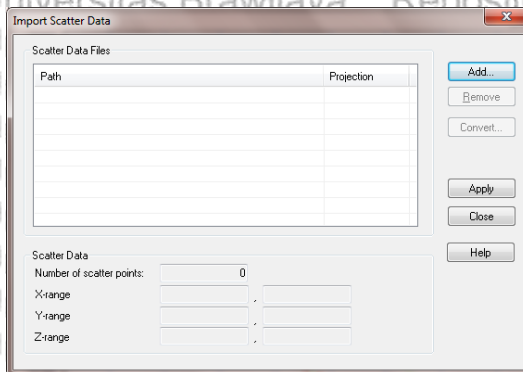


(8) Buat batas area model kemudian buat definisi boundary condition yang telah kita buat sebelumnya. Pilih menu properties dan muncullah tampilan berikut :

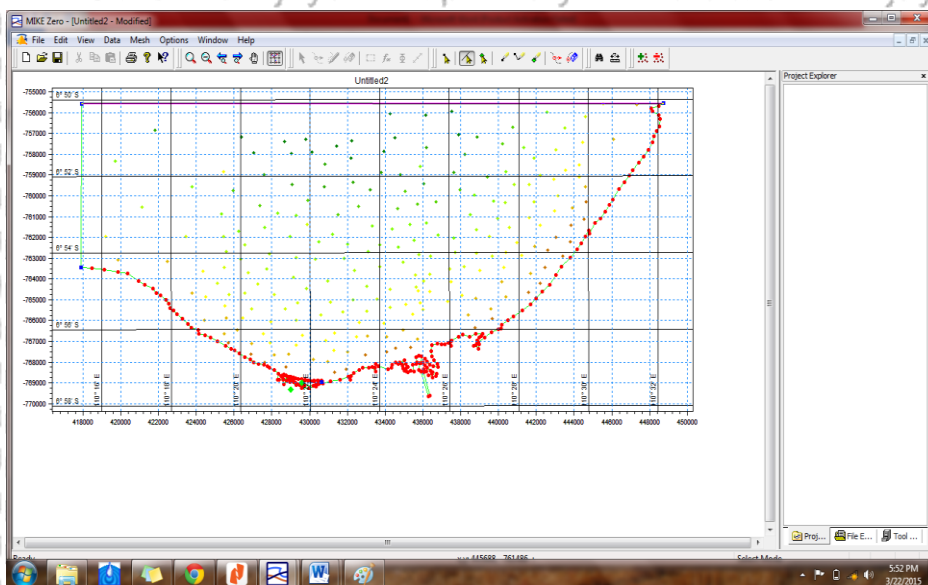




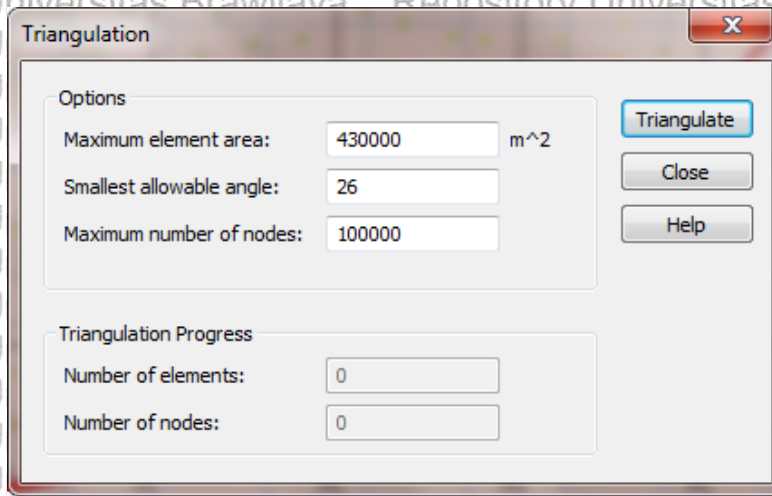
(9) **Import data bathimetri dengan cara klik *import scatter data***



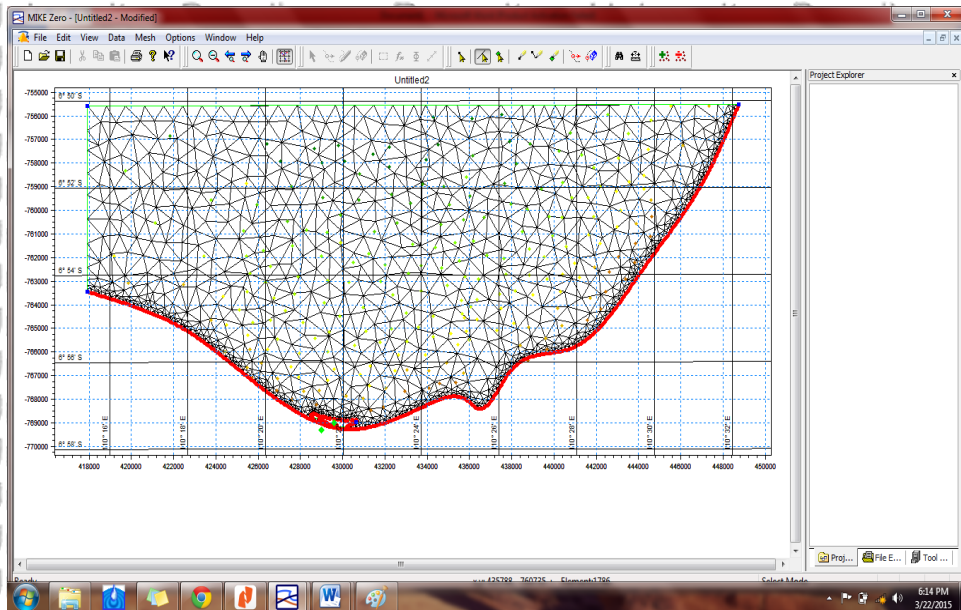
Pilih projection sesuai area studi, lalu pilih apply. Berikut lembar kerja yang akan ditampilkan pada dekstop



(10) **Buat jaring-jaring mesh dengan memilih menu triangulate. Isi sesuai data yang ada di lokasi studi pada kotak dialog dibawah ini**



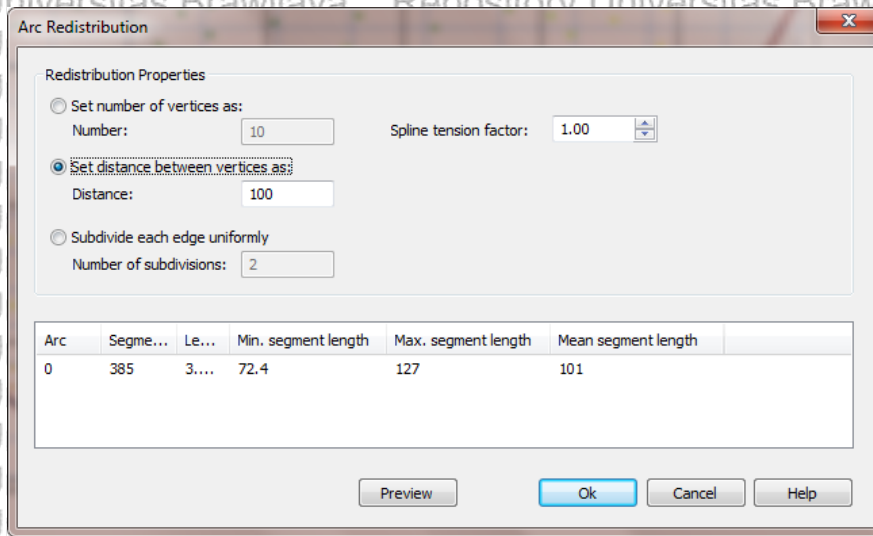
Kemudian akan ada tampilan sebagai berikut



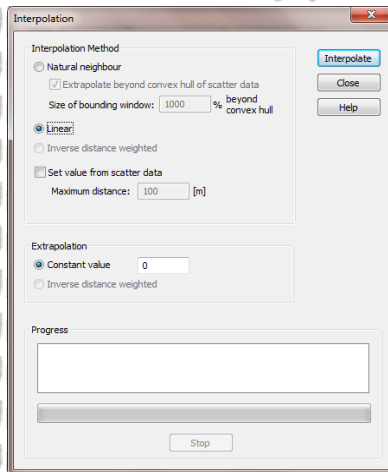
(11) Perhalus jaring-jaring mesh agar terlihat lebih *smooth* dengan *number iteration* 10.

(12) Atur *vertice* pada garis pantai

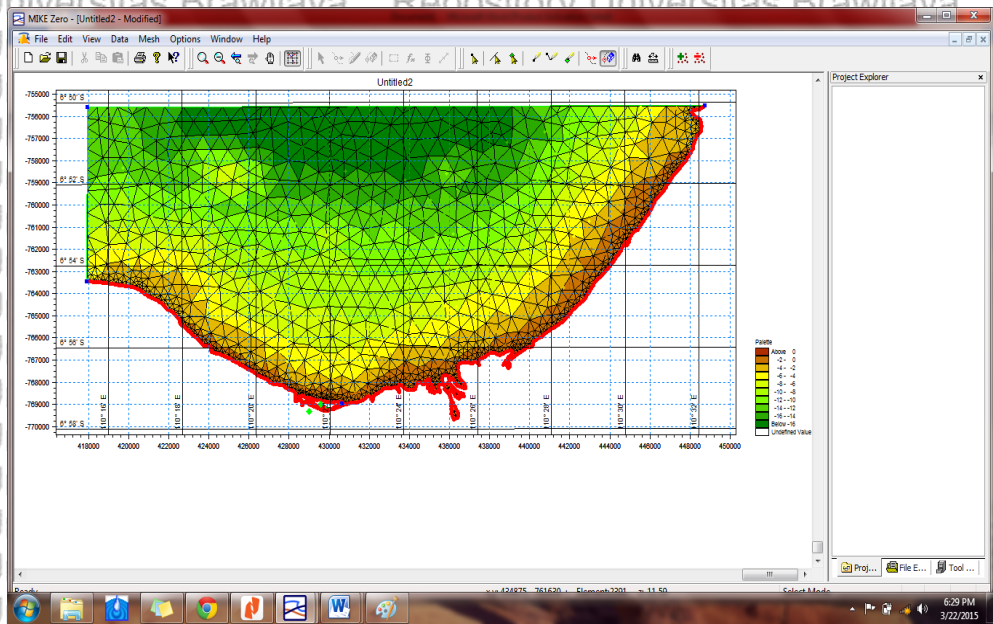




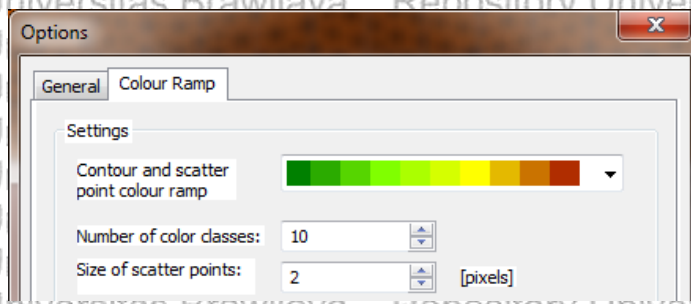
(13) Lakukan interpolasi mesh terhadap nilai bathimetri



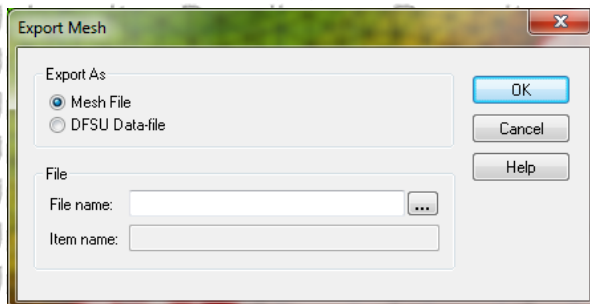
Pilih interpolate metode linier dan tampilan mesh akan berubah menjadi seperti dibawah ini



(14) Perhalus kontur mesh dengan menggunakan menu *shaded counter*. Atau bisa dengan membuat kelas klasifikasi warna pada menu *colour ramp*.



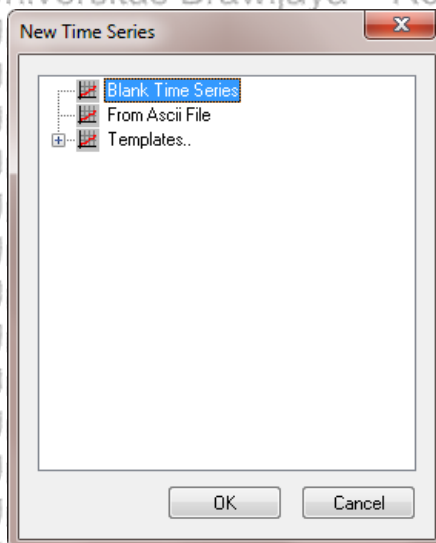
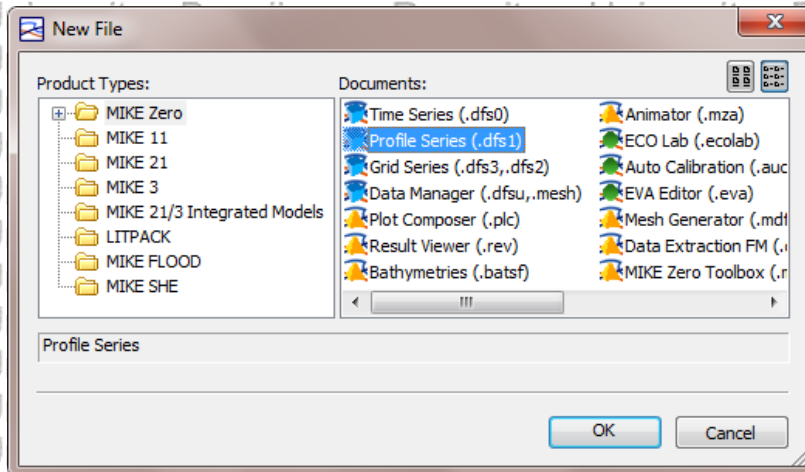
(15) Simpan hasil pembuatan mesh tersebut dengan cara mengexportnya. Hasil pekerjaan tersebut akan disimpan dengan format name mesh.





Step 2 : Input Data Pasang Surut

(1) Atur time series agar nilai pasang surut yang didapatkan cenderung konstan.



(2) Kemudian akan muncul kotak dialog dibawah ini

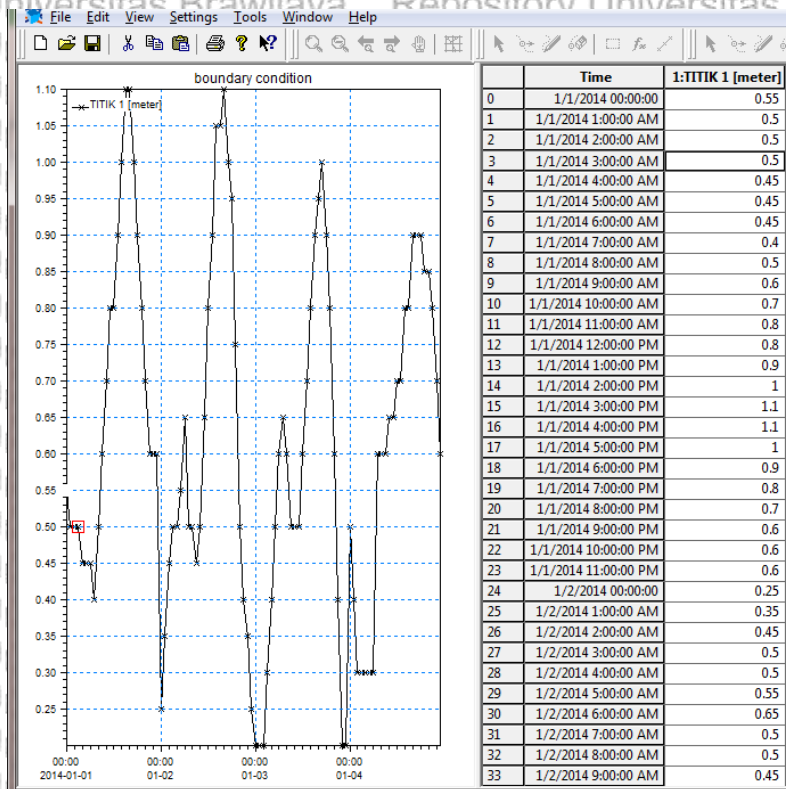
Name	Type	Unit	
1	Untitled	Undefined	undefined

Pada axis type klik equidistant calendar axis, dan untuk start time masukkan waktu pertama kali pengambilan data.

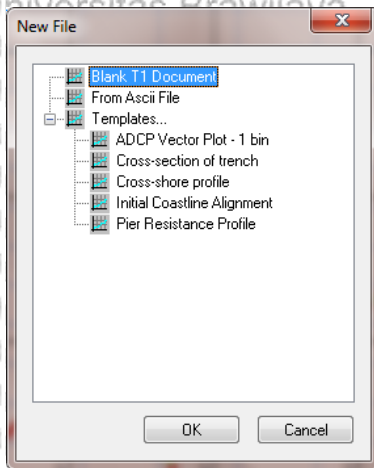
(3) Pada item information tulis titik pengambilannya pada kolom 2 dan water depth pada kolom 3.

Name	Type	Unit	
1	TITIK 1	Water Depth	meter

(4) Kemudian masukkan data pasang surut dalam format excel dengan mendrag ke aplikasi MIKE yang sedang terbuka.

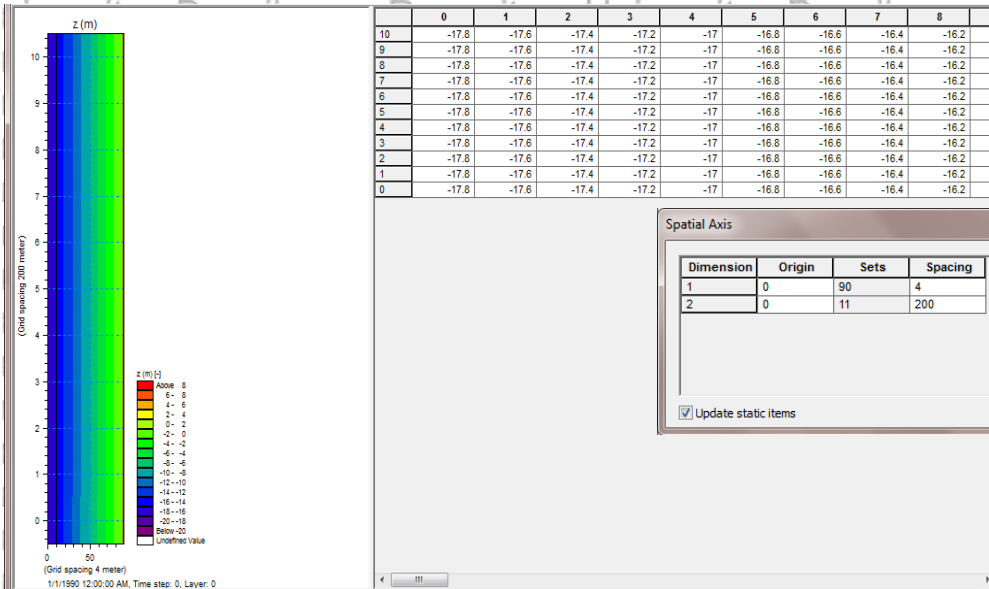


(5) Apabila pengambilan sample terdiri dari beberapa koordinat, maka pilih *Profile Series* kemudian pilih *Blank T1 Document*.

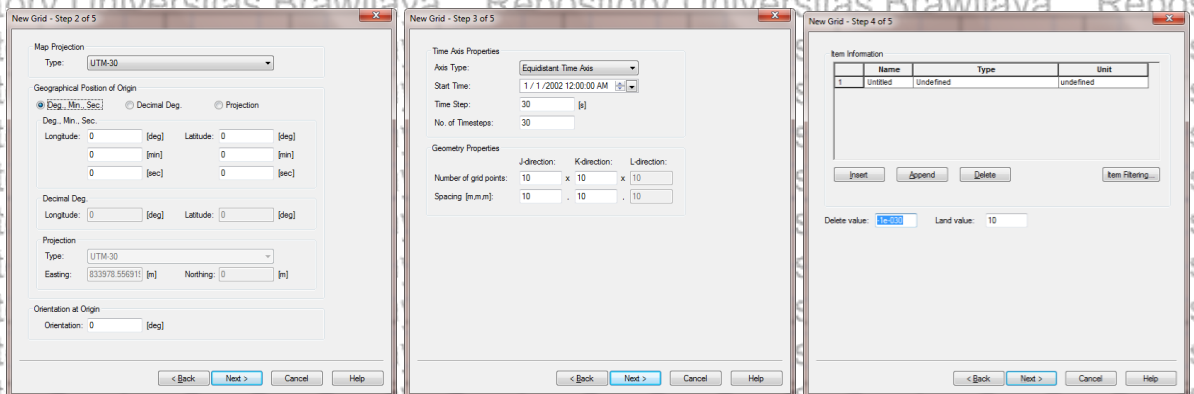


Untuk tahapan selanjutnya pada *Profile Series* ini, mengikuti tahapan pada penginputan data *profile series* yang sebelumnya.

(6) Langkah selanjutnya adalah mengatur Grid Series yang juga dimaksudkan untuk memberikan perbedaan warna terhadap beberapa klasifikasi berdasarkan kelas nilai pasang surut dalam interval tertentu.

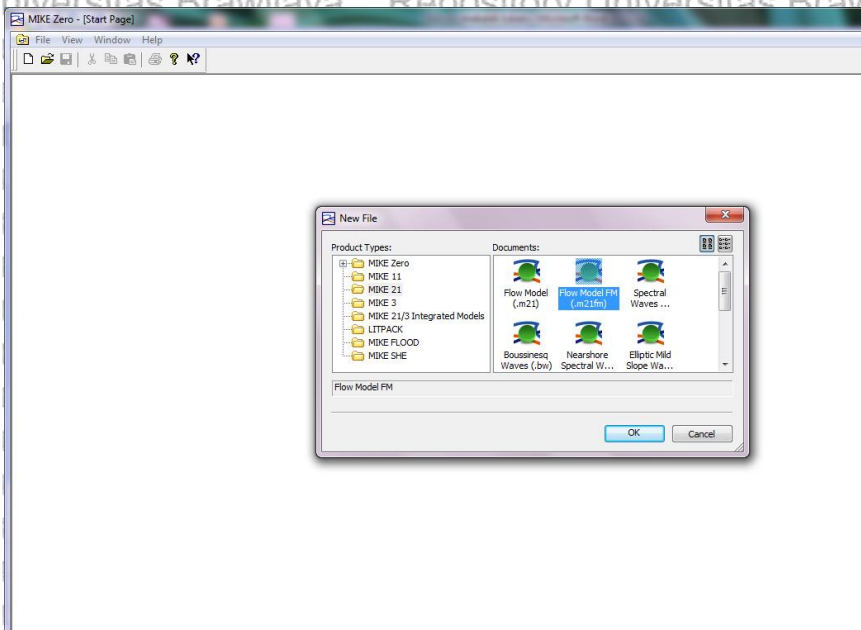


(7) Lakukan input data pada kotak-kotak dialog dibawah ini sesuai data yang ada

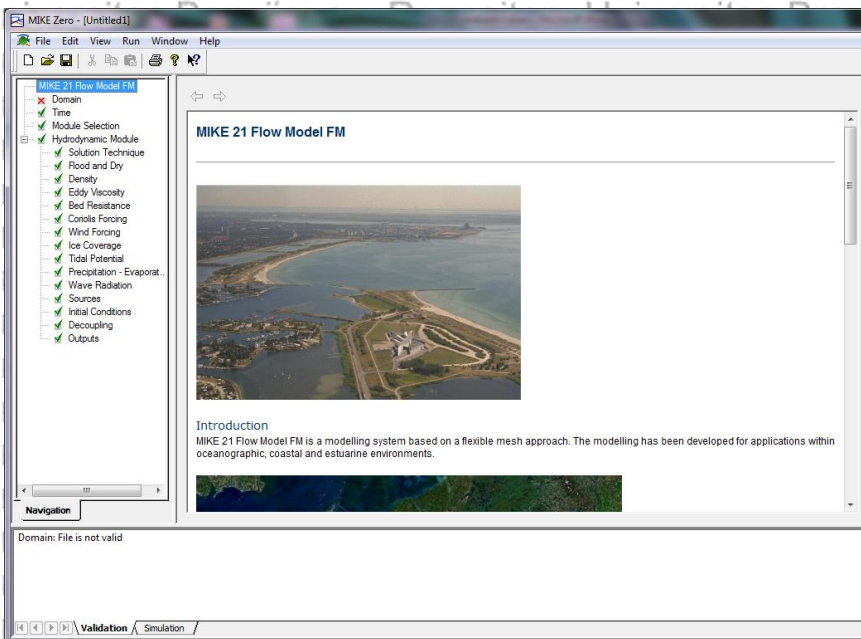


Step 3 : Permodelan Mike Flow FM

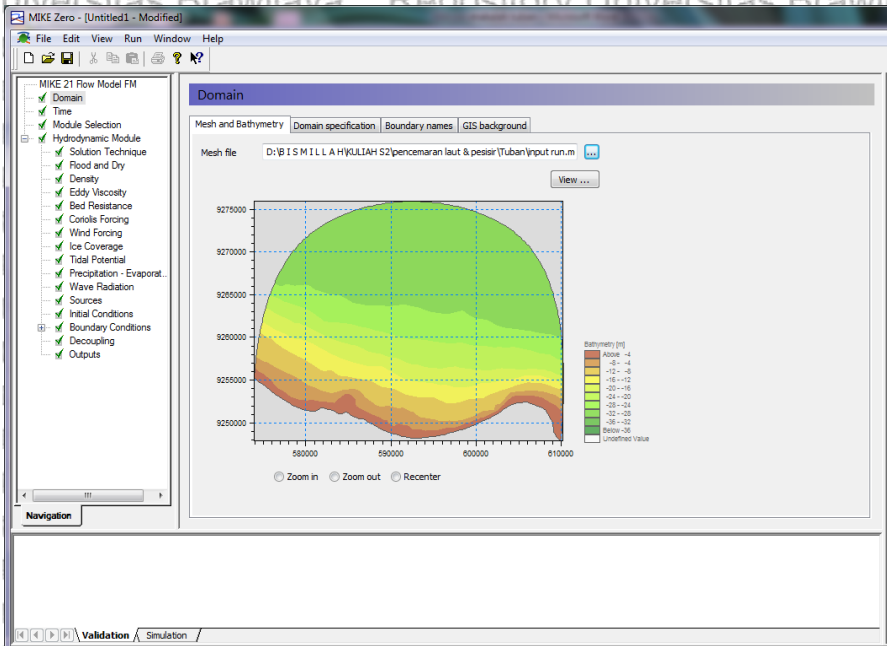
(1) Input Data *Hydrodynamic* yang akan disimulasikan, dan pilih tools flow mike FM pada menu File.



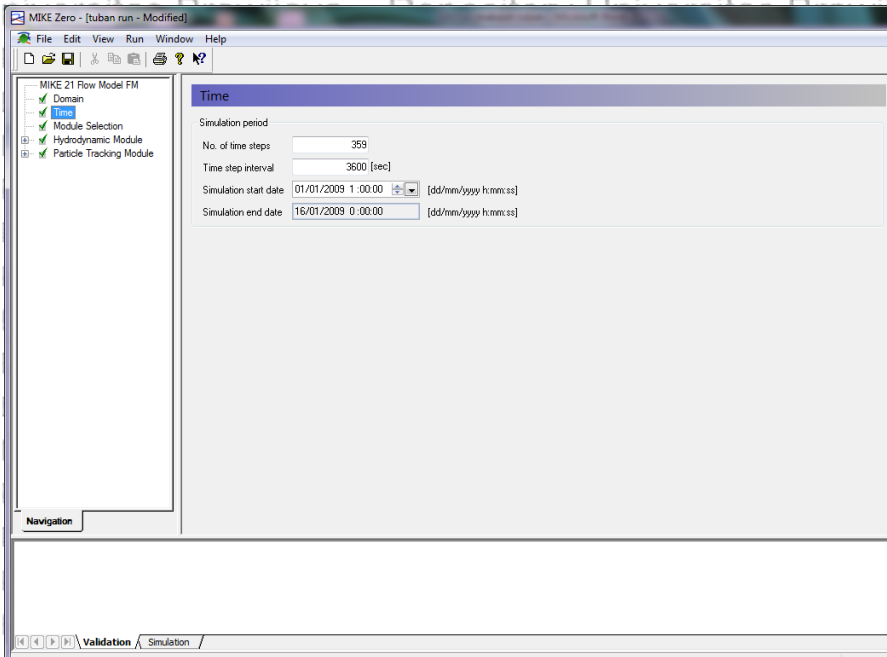
(2) Ceklist data input yang dibutuhkan untuk perunningan simulasi



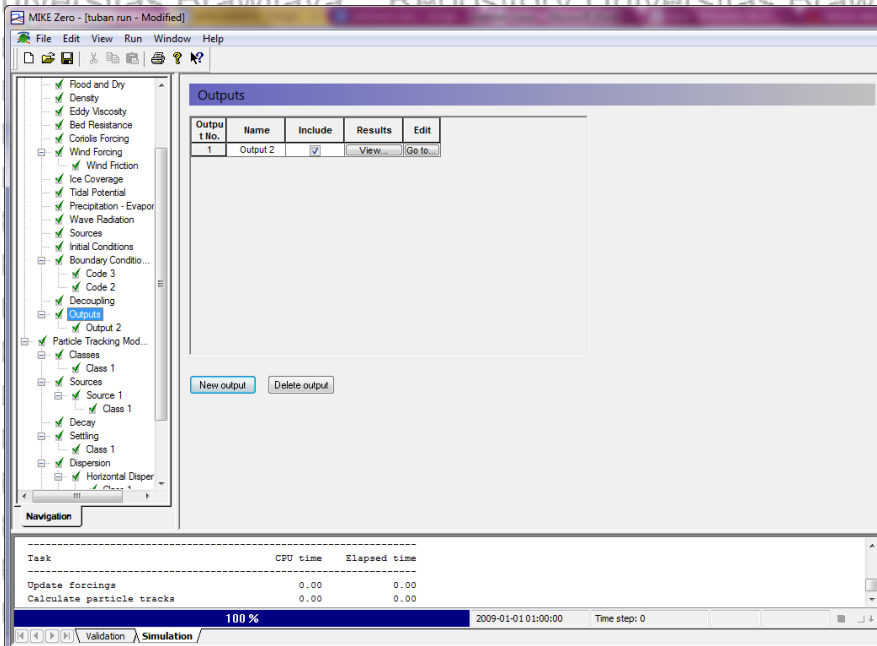
(3) Klik Domain untuk kemudian menginputkan data mesh dan bathimetri.



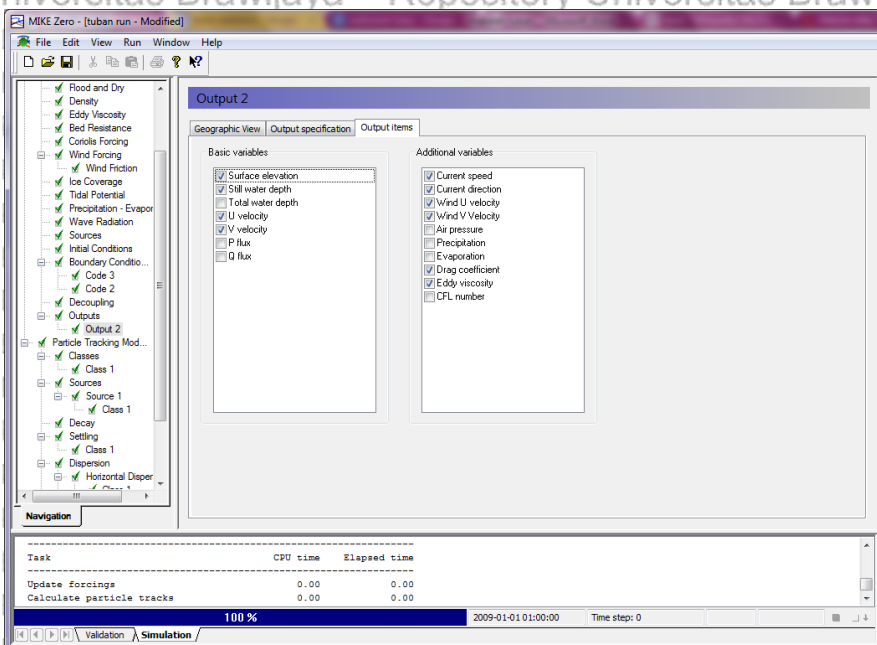
(4) Sesuaikan periode simulasi dengan data pasang surut dan masukkan data-data lainnya sesuai dengan yang tersedia.



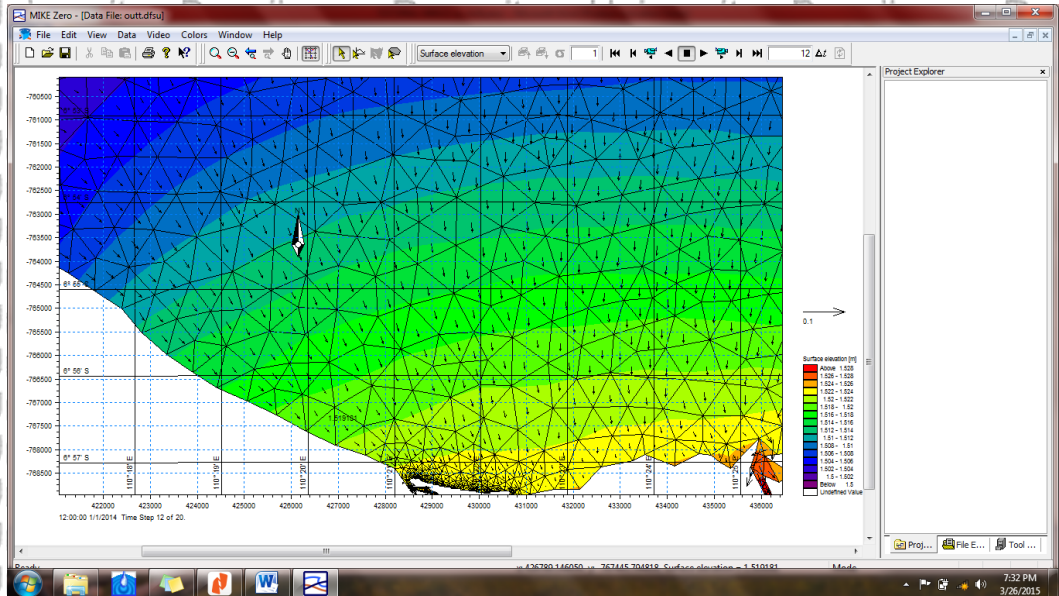
(5) Isi seluruh data yang tertera pada Navigation Bar, sampai pada sub tools output. Beri nama untuk output simulasi tersebut dan tekan "go to" untuk mengedit outputnya.



(6) Lengkapi *Output Specification* sesuai dengan simulasi permodelan yang diinginkan dengan men-checklist opsi pada *basic variables* dan *additional variables* yang tertera.



- (7) Pada Tab Run, klik Run Simulation. Tunggu dan lihat hasilnya dengan menchecklist Output. Dan keluarlah hasil perunningan simulasi pada opsi result, klik view.



4.7. Analisis Data

Analisis data merupakan suatu kegiatan penelitian yang mana dilakukan setelah semua sumber data telah terkumpul. Dalam hal ini, kegiatan analisis data mencakup kegiatan berikut, yaitu mengelompokkan data menurut jenis responden atau variabelnya, mentabulasi data, menyajikan data dari tiap-tiap variabel yang diteliti, serta melakukan perhitungan guna menjawab rumudan masalah dan menguji hipotesis yang telah diajukan diawal (Sugiyono, 2016).

Pada dasarnya, teknik analisis data dalam suatu penelitian kuantitatif menggunakan kaidah statistika, yang nantinya akan sangat dibutuhkan untuk menguji hipotesis kita. Dalam hal ini, statistika terbagi menjadi dua, deskriptif dan inferensial.



1) Statistika Deskriptif

Statistik jenis ini biasanya digunakan menganalisis data dengan mendeskripsikan data yang terkumpul tanpa mengeneralisirkannya. Suatu penelitian yang dilakukan pada suatu populasi pasti akan menggunakan statistik ini dalam proses analisisnya. Tetapi, ketika peneliti ingin membuat suatu kesimpulan untuk populasi tersebut, maka teknik analisisnya perlu menggunakan statistik inferensial. Statistik deskriptif juga bisa digunakan untuk mencari suatu hubungan atau keterkaitan antar variabelnya dengan analisa korelasi, analisa regresi, maupun membuat perbandingan rerata data sampel.

2) Statistika Inferensial

Statistik inferensial merupakan teknik yang digunakan untuk menganalisis suatu data sampel yang hasilnya digunakan untuk suatu populasi. Teknik pengambilan sampel statistik jenis ini adalah random, dimana sampel yang diambil juga harus berasal dari populasi yang jelas. Statistik ini juga disebut sebagai statistik probabilitas, yang mana dalam pengaplikasiannya kesimpulan yang nantinya akan diambil bersifat peluang.

Dalam penelitian kuantitatif, dua hal yang perlu diperhitungkan untuk menguji hipotesisnya adalah macam data dan bentuk hipotesis yang diajukan sebelumnya. Dan untuk menguji suatu hipotesis yang bersifat hubungan/keterkaitan yang bersifat asosiatif dengan data yang berbentuk interfal, digunakanlah :

1) Korelasi produk moment, guna menguji hubungan antara suatu variabel dependen dengan independen.

2) Korelasi ganda, guna menguji hubungan antara dua variabel independen dengan satu variabel dependen secara bersamaan.



3) Korelasi Parsial, guna menguji keterkaitan antara dua variabel atau lebih, namun ada variabel yang bisa untuk dikendalikan.

4) Analisis regresi, guna melakukan suatu prediksi mengenai perubahan suatu variabel dependen jika ada perubahan nilai dari variabel independennya.

Dalam penelitian ini, analisis data dilakukan dengan maksud untuk mengkaji sebaran temperatur limbah air terproduksi yang telah diolah sebelumnya. Dimana perubahan temperatur sebagai fungsi waktu untuk berbagai alternatif layout pengembangan, diamati dengan titik tinjau (*gage*). Dari pengamatan titik tinjau untuk berbagai alternatif pengembangan, dapat dibandingkan perubahan temperatur dari masing-masing alternatifnya. Untuk setiap alternatif layout, pengamatan perubahan temperatur dilakukan pada dua lokasi, yaitu pada mulut *outlet* dan pada intakenya. Pengamatan tersebut dilakukan guna mengetahui seberapa besar pengaruh bentuk/alternatif layout yang ada terhadap peningkatan temperature air di daerah outlet penelitian. Dari alternatif A dan B nantinya akan memperlihatkan suhu pada daerah outlet dengan debit $0,368 \text{ m}^3/\text{det}$ akan mampu meningkatkan suhu eksisting dalam dalam radius tertentu sehingga didapatkan penentuan area rilis yang aman terhadap lingkungan.



BAB VII

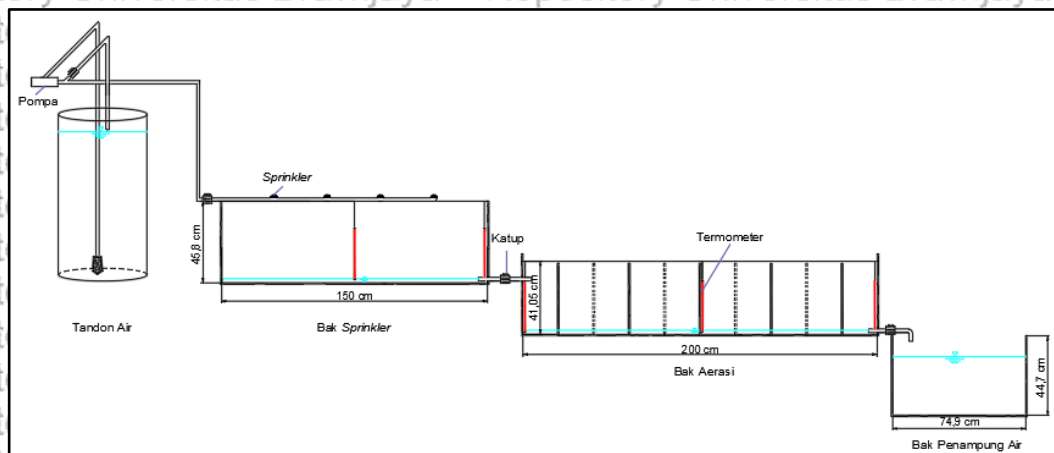
IMPLIKASI HASIL PENELITIAN

7.1 Implikasi Praktis Hasil Penelitian (Keterkaitan Hasil Penelitian Terhadap Penelitian Selanjutnya)

Implikasi praktis hasil penelitian penurunan suhu limbah air terproduksi di Skim

Pit KMT menggunakan bak penurun suhu adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian dan data yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dasar dalam menurunkan suhu limbah air terproduksi dari industri minyak dan gas bumi, sehingga suhu air limbah terproduksi dapat dikendalikan dan tidak berdampak buruk pada biota laut.
2. Penurunan suhu limbah air terproduksi digunakan untuk kepentingan komersial yang dapat digunakan oleh industri minyak dan gas bumi, sehingga di desain agar tidak menimbulkan permasalahan yang lain.
3. Model bak penurun suhu merupakan kombinasi inovasi penurun suhu yang sudah ada, yaitu *spray pond* dan *cooling pond* yang diharapkan efektif, efisien dan ekonomis untuk menurunkan suhu limbah air terproduksi.



Gambar 7.1 Desain Bak Penurun Suhu Dengan Sprinkler

Sumber: Hasil Desain, 2018



4. Desain bak penurun suhu dapat di sesuaikan dengan ketersediaan lahan yang dimiliki oleh setiap industri minyak dan gas bumi.

5. Suatu permodelan *transport* polutan ke perairan dilakukan guna mengetahui area terdampak air hasil residu bersuhu panas dan mengetahui apakah sebaran panas yang dihasilkan berdampak negatif bagi biota yang ada di perairan tersebut.

7.2 Implikasi Praktis Terhadap Kebijakan (keterkaitan hasil penelitian dengan kebijakan yang berlaku)

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010 mengenai baku mutu air limbah dari hasil eksplorasi dan produksi migas, suhu minimal air limbah yang dapat dibuang yaitu 45°C. Limbah air terproduksi yang bersuhu tinggi dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, sehingga air limbah terproduksi yang merupakan hasil limbah industri minyak yang memiliki suhu tinggi harus melalui pengendalian suhu terlebih dahulu dan memenuhi baku mutu yang ditentukan oleh Permen LH No. 19 Tahun 2010.

Hasil

penelitian ini nantinya dapat dijadikan sebagai dasar acuan untuk menyelesaikan permasalahan yang ditimbulkan oleh limbah air terproduksi yang memiliki suhu yang cukup tinggi.

Sehingga bak penurun suhu ini dapat dijadikan sebagai upaya dalam mewujudkan pembangunan industri minyak dan gas bumi yang aman terhadap ekosistem laut.