

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Potensi Panas Bumi di Indonesia

Panas bumi dapat dimanfaatkan secara langsung dan tidak langsung. Pemanfaatan energi panas bumi secara langsung belum banyak dikembangkan di Indonesia. Pemanfaatan energi panas bumi secara langsung pada saat ini masih banyak digunakan di sekitar lokasi yang memiliki sumber panas bumi misalnya di daerah Kalianget, Kabupaten Wonosobo Provinsi Jawa Tengah untuk wisata pemandian air panas. Pemanfaatan energi panas bumi secara tidak langsung dapat digunakan untuk pembangkit energi listrik. Pengembangan pembangkit listrik panas bumi perlu dilakukan dan dikelola secara optimal mengingat Indonesia memiliki potensi sumber panas bumi yang banyak dan tersebar di beberapa daerah seperti yang disajikan pada tabel 2.1. pada setiap provinsi yang ada di Indonesia.

Tabel 2.1. Potensi sumber panas bumi di Indonesia

Provinsi	Sumberdaya	Cadangan
Jawa Barat	2159	3765
Sumatera Utara	434	2316
Lampung	1243	1339
Sumatera Selatan	918	964
Jawa Tengah	517	1344
Sumatera Barat	801	1035
Nusa Tenggara Timur	629	763
Jawa Timur	362	1012
Bengkulu	580	780
Aceh	980	332
Jambi	422	621
Sulawesi Utara	128	768
Maluku Utara	197	580
Sulawesi Tengah	385	368
Maluku	454	220
Banten	261	365
Sulawesi Barat	369	162
Sulawesi Selatan	292	163

Tabel 2.2. Potensi sumber panas bumi di Indonesia (lanjutan)

Provinsi	Sumberdaya	Cadangan
Bali	92	262
Sulawesi Tenggara	225	98
Gorontalo	140	110
Nusa Tenggara Barat	6	169
Bangka Belitung	106	-
Papua Barat	75	-
Kalimantan Barat	65	-
Kalimantan Selatan	50	-
Kalimantan Utara	50	-
Riau	41	-
Kalimantan Timur	18	-
Yogyakarta	-	10

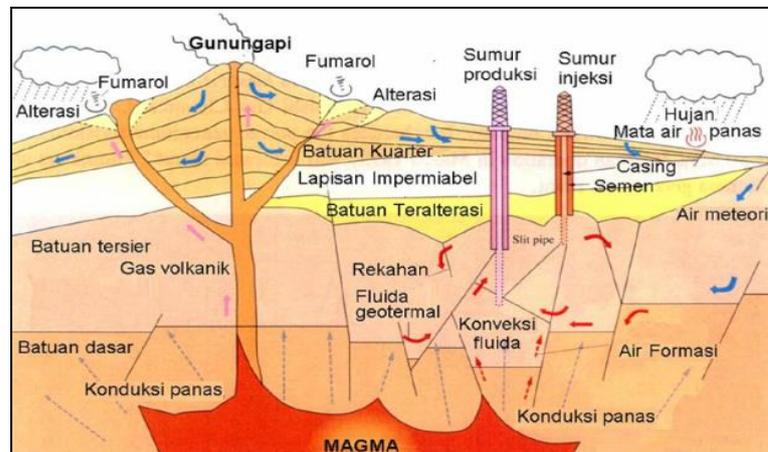
Sumber: (Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan, 2016)

Hasil survei menunjukkan sumber daya sebesar 11.998 MW dan cadangan sebesar 17.546 MW yang tersebar di 30 provinsi. Dari potensi panas bumi tersebut telah ditetapkan 70 Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) dan lainnya merupakan wilayah terbuka. Saat ini pemanfaatan panas bumi untuk pembangkit tenaga listrik baru mencapai 1.698,5 MW atau sekitar 9,3% dari total cadangan panas bumi yang berasal dari 11 WKP yang telah berproduksi (Direktorat Panas Bumi, 2017).

II.2. Sistem Panas Bumi (Geothermal)

Sistem panas bumi terbentuk dari beberapa elemen penting yaitu adanya sumber panas, fluida air panas, batuan reservoir, dan batuan penudung (McNutt, Sigurdsson, Houghton, Rymer, & Stix, 2000). Pada sistem panas bumi, perpindahan panas terjadi secara konduksi dan konveksi (Indratmoko, 2009). Perpindahan panas secara konduksi dapat terjadi pada batuan akibat adanya interaksi atom atau molekul penyusun batuan dalam mantel. Sedangkan untuk perpindahan panas secara konveksi merupakan perpindahan panas yang diikuti oleh perpindahan massa atau molekul. Fluida panas bumi berasal dari air permukaan yang masuk ke bawah permukaan melalui rekahan maupun ruang antar butiran batuan yang membentuk sistem kantong fluida atau reservoir. Reservoir merupakan lapisan yang tersusun dari batuan yang bersifat permeable

dan memiliki porositas tinggi yang berperan untuk menyimpan fluida yaitu uap dan air panas yang berasal dari hasil pemanasan. Lapisan reservoir dapat berasal dari batuan vulkanik yang telah mengalami rekahan secara kuat. Batuan penudung (*cap rock*) berfungsi sebagai penutup reservoir untuk mencegah bocornya atau keluarnya fluida panas bumi dari reservoir. Batuan penudung harus berupa lapisan batuan yang bersifat kedap atau memiliki permeabilitas rendah. Sistem konseptual dari sistem panas bumi dapat dilihat pada gambar 2.1. yang menunjukkan bahwa sumber panas berasal dari magma bumi dan secara konduksi mengakibatkan panas pada lapisan di atasnya dan secara konveksi fluida dari air konveksi akan terakumulasi menuju pada sumur produksi.



Gambar 2.1. Model konseptual sistem panas bumi (Putrohari, 2009)

Pembentukan sistem panas bumi dapat terjadi apabila terdapat sumber panas, reservoir untuk mengakumulasi panas, dan lapisan penudung (*cap rock*) sebagai tempat terakumulasinya panas. Sumber panas bumi tersebut akan menyebabkan air menguap dan keluar sebagai uap panas yang akan menjadi energi panas bumi baik dimanfaatkan secara langsung maupun tidak langsung.

II.3. Eksplorasi Panas Bumi

Eksplorasi panas bumi merupakan rangkaian kegiatan yang meliputi penyelidikan geologi, geofisika, geokimia, pengeboran uji, dan pengeboran sumur eksplorasi yang bertujuan untuk memperoleh dan menambah informasi kondisi geologi bawah permukaan guna menemukan dan mendapatkan perkiraan potensi panas bumi serta memproduksi panas bumi guna pengembangan untuk

pemanfaatan fluida (Nenny, 2012). Tahapan eksplorasi panas bumi dimulai dengan tahap eksplorasi pendahuluan, tahap eksplorasi lanjutan, tahap pengeboran eksplorasi, tahap studi kelayakan, tahap perencanaan, tahap pengembangan dan pembangunan, serta dilanjutkan dengan tahap produksi.

Tahap eksplorasi pendahuluan dimulai dengan mengumpulkan peta dan laporan hasil survei yang pernah dilakukan sebelumnya pada daerah yang akan diselidiki, guna mendapatkan gambaran mengenai geologi regional, kondisi geologi dan hidrologi lokasi, kemudian menetapkan tempat-tempat yang akan disurvei. Eksplorasi pendahuluan dilakukan untuk mencari tanda-tanda adanya sumber daya energi panas bumi melalui penampakan dipermukaan, serta mencari gambaran geologi regional yang didasarkan pada prospek yang didapat. Data yang diperoleh dari hasil survei pendahuluan masih sangat umum. Untuk mendapatkan gambaran yang lebih baik mengenai daerah prospek yang sedang diselidiki maka masih perlu dilakukan survei rinci.

Tahap kedua dari kegiatan eksplorasi adalah tahap '*pre-feasibility study*' atau tahap survei lanjut. Survei yang dilakukan terdiri dari survei geologi, geokimia dan geofisika. Survei lanjut bertujuan untuk mendapatkan informasi yang lebih baik mengenai kondisi geologi permukaan dan bawah permukaan serta mengidentifikasi daerah yang diduga mengandung sumber daya panas bumi. Hasil eksplorasi rinci dapat mengetahui secara rinci mengenai penyebaran batuan, struktur geologi, cadangan panas bumi, hidrologi, sistem panas bumi, temperatur reservoir, potensi sumber daya serta potensi listriknya.

Hasil survei rinci yang didapat akan dilanjutkan pada tahap pengeboran sumur. Jumlah sumur eksplorasi tergantung dari besarnya luas daerah yang diduga mengandung energi panas bumi. Kedalaman sumur tergantung dari kedalaman reservoir yang diperkirakan dari data hasil survei rinci, batasan anggaran, dan teknologi yang ada, tetapi sumur eksplorasi umumnya dibor hingga kedalaman 1000 meter sampai 3000 meter. Dalam pengeboran panas bumi, terdapat 3 jenis sumur yang dibedakan berdasarkan fungsinya, yaitu:

- a. Sumur Produksi untuk mengambil panas dalam bentuk uap (*steam*) atau air panas (*brine*).

- b. Sumur Injeksi digunakan untuk menginjeksikan kembali brine setelah energi panasnya diekstraksi atau untuk menginjeksikan air sisa dari proses di power plant (kondensat) ke dalam lapangan geothermal.
- c. Sumur Delineasi (pemantauan) berfungsi untuk melakukan pemantauan terhadap suatu area.

Teknologi pengeboran sumur panas bumi banyak mengadopsi teknologi pengeboran sumur-sumur minyak dan gas (Falcone & Teodoriu, 2008). Sumur-sumur panas bumi biasanya dibor dengan diameter lebih besar, lebih dalam, dan ditujukan untuk waktu produksi lebih panjang daripada sumur minyak dan gas. Pada pengeboran sumur panas bumi terdapat beberapa tantangan (Syeid Zahoor, Ullah; Syed Rehan Shah, 2008) di antaranya adalah:

- a. suhu tinggi (*gradient* temperatur sumur minyak dan gas sekitar 5°F/100 feet, sedangkan *gradient* temperatur sumur panas bumi berkisar antara 12°-13°F/100 feet).
- b. Adanya *fracture* yang dapat menyebabkan hilangnya sirkulasi saat pengeboran.
- c. Jenis batuan yang sering dijumpai di sumur panas bumi ini adalah batuan beku, yang akan mempengaruhi bit dan tingkat penetrasi pengeboran.
- d. Fluida reservoir panas bumi biasanya adalah uap atau air panas, berbeda dengan reservoir minyak atau gas, dan kebanyakan sumur yang tekanannya telah turun.

Dengan adanya berbagai tantangan tersebut maka teknologi dan manajemen pada sistem pemboran sumur panas bumi harus dilakukan dengan baik agar operasi pengeboran dapat berjalan optimal.

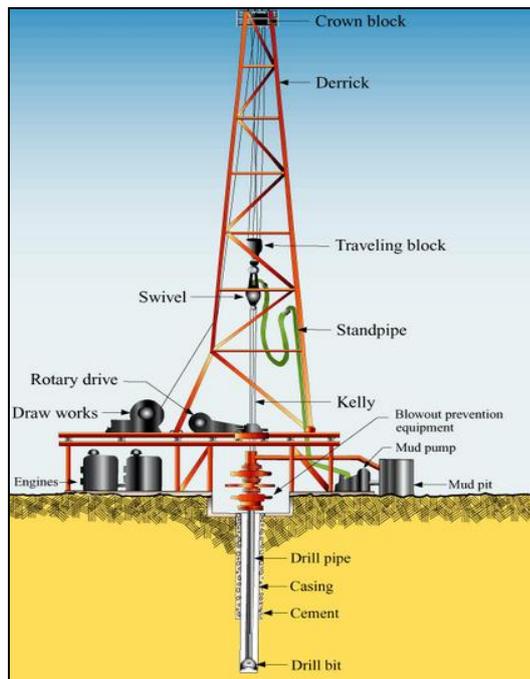
Tahapan yang dilakukan setelah pengeboran adalah studi kelayakan. Studi kelayakan dilakukan apabila beberapa sumur eksplorasi menghasilkan fluida panas bumi. Tujuan dari studi ini adalah untuk menilai apakah sumber daya panas bumi yang terdapat di daerah tersebut secara teknis dan ekonomis menarik untuk diproduksi. Apabila dari hasil studi kelayakan disimpulkan bahwa daerah panas bumi tersebut prospektif untuk dikembangkan yang ditinjau dari aspek teknis maupun ekonomis, maka tahap selanjutnya adalah membuat perencanaan secara

detail yaitu rencana pengembangan lapangan dan pembangkit listrik yang mencakup usulan secara rinci mengenai fasilitas kepala sumur, fasilitas produksi dan injeksi di permukaan, sistem pipa alir di permukaan, serta fasilitas pusat pembangkit listrik.

Hasil perencanaan akan digunakan untuk pengembangan dan pembangunan misalnya kepala sumur dan pipa-pipa untuk mengalirkan uap ke *plant* yang telah direncanakan termasuk pembangunan pembangkit listrik. Setelah tahap pengembangan dan pembangunan selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah tahap produksi. Pada tahap produksi, uap panas yang dihasilkan dari sumur produksi akan dimanfaatkan untuk pembangkit listrik. Fluida yang diperoleh dari sumur produksi akan dialirkan ke dalam *separator* untuk dipisahkan antara uap dan air. Fluida cair (*brine*) akan dipompakan kembali ke dalam sumur injeksi agar sistem panas bumi tetap berkelanjutan, sedangkan uap akan dialirkan menuju ke pembangkit untuk memutar turbin guna menghasilkan listrik. Adapun uap yang telah melewati turbin akan dialirkan menuju kondensor dan air hasil kondensasi (kondensat) selanjutnya akan diinjeksikan ke dalam bumi melalui sumur injeksi.

II.4. Peralatan Pengeboran

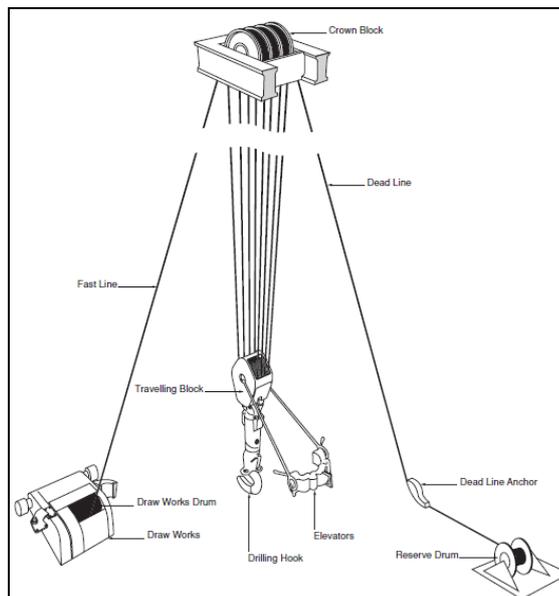
Pada tahapan pengeboran diperlukan suatu peralatan untuk dapat membuat lubang ke dalam bumi. Peralatan pengeboran tersebut merupakan peralatan terintegrasi yang disebut dengan *rig*. *Rig* memiliki jenis yang berbeda apabila digunakan untuk melakukan pengeboran di atas tanah (*onshore*) dan pengeboran di perairan (*offshore*). Pengeboran sumur panas bumi dilakukan di atas tanah. Alat pengeboran tersebut dipasang pada daerah yang memiliki potensi panas bumi sesuai dari hasil survei yang dilakukan. Pemasangan pengeboran rig darat (*onshore rig*) dapat dilihat pada gambar 2.2. yang tersusun dari peralatan *crown block*, *derrick*, *travelling block*, *kelly swivel*, *rotary drive*, *draw work*, dan rangkaian pipa pengeboran. Kondisi saat ini top drive banyak digunakan sebagai pengganti *kelly swivel* untuk menghemat waktu penyambungan pipa pengeboran karena mampu menyambung hingga 3 *joint* pada 1 *stand*. Kerugian dalam menggunakan top drive adalah adanya rate harga rig yang lebih mahal dan penambahan resiko kerusakan pada sistem mekanik dan elektrik.



Gambar 2.2. Skema alat pengeboran darat (Hosseini, 2014)

Pada operasi pengeboran, *Rig* tersusun dari berbagai sistem (Ngugi, 2007), yaitu sistem tenaga, sistem angkat, sistem putar, sistem sirkulasi, dan sistem *blow out preventer (BOP)*. Sistem tenaga merupakan sumber tenaga untuk memenuhi kebutuhan listrik dan untuk menggerakkan semua sistem peralatan pengeboran. Sebagai sumber tenaga, biasanya digunakan mesin diesel berkapasitas besar.

Pada sistem angkat pengeboran, beberapa peralatan disusun untuk dapat mengangkat pipa dan menyambungkan pipa-pipa selama operasi pengeboran. Peralatan *draw work* dipasang pada rangkaian sistem menggunakan *line* melalui *crown block* di atas menara untuk menggerakkan *travelling block*. Secara umum rangkaian sistem angkat pengeboran dapat dilihat pada gambar 2.3 yang menunjukkan komponen peralatan yang digunakan di atas rig.



Gambar 2.3. Sistem angkat *rig* (Jack, 2015)

Pada gambar di atas tersusun beberapa peralatan utama sistem angkat yaitu *Block* dan *Tackle* serta *draw work*. *Block* dan *Tackle* terdiri dari *crown block* yang merupakan katrol-katrol yang diam terletak di atas *mast* atau *derrick* dan *traveling block* yang merupakan katrol-katrol yang bergerak tempat melilitkan *drilling line*. Hal ini memungkinkan *traveling block* bergerak naik dan turun sambil tergantung di bawah *crown block* dan di atas *rig floor*.

Traveling block dihubungkan menggunakan *drilling line* yang merupakan tali kawat baja yang berfungsi menghubungkan semua komponen dalam *hoisting system*. Tali ini dililitkan secara bergantian melalui katrol pada *crown block* dan *traveling block* kemudian digulung pada *drawwork*. Pada bagian bawah terdapat *hook* yang merupakan peralatan berbentuk kait yang besar yang terletak di bawah *traveling block* untuk menggantungkan *swivel* selama proses pengeboran berlangsung. Pada peralatan ini juga terdapat *elevator* yang berfungsi untuk memegang *drill pipe* dan *drill collar* bagian demi bagian sehingga dapat dimasukkan dan dikeluarkan dari dan ke lubang bor selama proses pengeboran.

Drawwork merupakan suatu peralatan mekanik yang merupakan otak dari *derrick* karena alat ini pusat pengontrol bagi *driller* yang menjalankan operasi pengeboran. *Drawwork* merupakan rumah dari gulungan *drilling line* dan

berfungsi meneruskan daya dari *prime mover* ke *drill string*. *Draw work* menyediakan daya untuk mengangkat dan menurunkan beban yang berat. *Draw work* terdiri dari drum dan *brake*. Drum berfungsi untuk menggulung dan mengulur *drilling line*. *Brake* terdiri dari *main mechanical brake* dan *auxiliary brake*. *Main mechanical brake* merupakan peralatan paling penting dari *hoisting system*. Alat ini mempunyai kemampuan untuk membuat seluruh beban kerja betul-betul berhenti, seperti pada saat *tripping* ataupun menurunkan *casing*. *Auxiliary Brake* berfungsi meringankan *mechanical brake*.

Peralatan angkat dipasang pada suatu konstruksi menara yang biasa terbuat dari baja yang biasa disebut *Derrick* atau *Portable Mast* dan *Substructure*. *Derrick* digunakan untuk menyediakan ruang ketinggian vertical yang diperlukan untuk mengangkat pipa menurunkan ke dalam sumur. Semakin tinggi ketinggian, semakin panjang rangkaian pipa yang dapat ditangani, sehingga semakin cepat pipa yang panjang dapat dimasukkan atau dikeluarkan dari lubang bor. Panjang pipa yang umum digunakan adalah berkisar antara 27 feet dan 30 feet. Kemampuan *derrick* untuk menangani suatu panjang rangkaian pipa disebut dengan *Stand*, yang tersusun dari dua, tiga atau empat sambungan *drillpipe* yang sering disebut dengan kemampuan menarik *doubles*, *thribbles* atau *fourbles*. *Derrick* dan *Substructure* harus mampu menahan beban yang diberikan oleh berat pipa pada *block* ditambah sebagian dari *drillpipe* yang disandarkan pada *derrick*. Bila rangkaian *casing* yang berat dipasang, kemungkinan diperlukan untuk memisahkan beberapa *drillpipe* agar kapasitas pembebanan pada *derrick* sesuai dengan kemampuannya.

Selain sistem angkat di atas, terdapat sistem putar (*rotating system*) pada *rig* yang digunakan untuk mentransmisikan putaran *rotary table* ke mata bor. Bagian utama dari *rotary system* antara lain sebagai berikut:

a. *Swivel*

Swivel berfungsi sebagai penahan beban *drillstring* dan bagian statis yang memberhentikan *drill string* berputar. Selain itu *swivel* merupakan titik penghubung antara *circulating system* dengan *rotating system*.

b. *Kelly*

Kelly merupakan rangkaian pipa yang pertama di bawah *swivel*. Bentuk potongan dari *kelly* dapat berupa segi empat atau persegi enam sehingga akan mempermudah *rotary table* untuk memutar rangkaian di bawahnya.

c. *Rotary table*

Peralatan ini berfungsi untuk memutar dan menggantung *drill string* yang memutar mata bor di dasar sumur.

Sistem putar bekerja terintegrasi dengan sistem lainnya. Masing-masing sistem harus dapat bekerja agar operasi pengeboran dapat berlangsung dengan baik.

Pada operasi pengeboran juga terdapat sistem sirkulasi. Sistem ini berfungsi untuk mengangkat serpihan *cutting* dari dasar sumur ke permukaan. Sistem sirkulasi digunakan untuk mengalirkan fluida selama operasi berlangsung yaitu dari *steel tank* ke *mud pump* menuju *high pressure surface connection* dan kemudian ke *drillstring* yang dilanjutkan ke mata bor. Dari *nozzle bit* akan dialirkan ke atas melalui lubang *annulus* dengan melalui *drillstring* sampai ke permukaan. Fluida yang sampai di permukaan akan dimasukkan ke *contaminant-removal equipment* dan kembali ke *suction tank*.

Sistem sirkulasi terdiri dari beberapa peralatan seperti *mud pump*, *mud mixing equipment*, *contaminant removal*. *Mud pump* berfungsi untuk memompa fluida pengeboran dengan tekanan tinggi. Fluida yang dipompakan adalah lumpur yang merupakan campuran bahan atau material yang telah diolah menggunakan *Mud mixing equipment*. Setelah lumpur mengalami sirkulasi dan kembali ke permukaan, maka fluida tersebut akan menuju ke *contaminant removal* untuk dibersihkan agar dapat digunakan kembali. Pada *contaminant removal* terdapat beberapa peralatan yaitu:

- a. *mud gas separator* yang berfungsi untuk memisahkan gas dari fluida pengeboran
- b. *shale shaker* yang berfungsi untuk memisahkan *cutting* berukuran besar dari fluida pengeboran.
- c. *degasser* yang berfungsi untuk memisahkan gas-gas dari fluida pengeboran secara terus menerus.
- d. *desander* yang berfungsi untuk memisahkan pasir dari fluida pengeboran.

- e. *desilter* yang berfungsi untuk memisahkan partikel-partikel yang ukurannya lebih kecil dari pasir.

Selain sistem sirkulasi, juga terdapat sistem *Blow out Preventer* (BOP). Jumlah, ukuran dan kekuatan BOP yang digunakan tergantung dari kedalaman sumur yang akan dibor serta antisipasi maksimum terhadap tekanan reservoir yang akan dijumpai. BOP tepat diletakkan di atas permukaan sumur untuk menyediakan tenaga untuk menutup sumur bila terjadi kenaikan tekanan dasar sumur yang tiba-tiba dan berbahaya selama atau sedang dalam operasi pengeboran. Sistem *Blowout Preventer* (BOP) digunakan untuk mencegah aliran fluida formasi yang tidak terkendali dari dalam lubang bor. Pada saat mata bor menembus zona permeabel dengan tekanan fluida melebihi tekanan yang ada didalam formasi, maka fluida formasi akan menggantikan fluida pengeboran. Masuknya fluida formasi ke dalam lubang bor sering disebut dengan *kick*.

II.5. Simulasi Monte Carlo dan Crystall Ball

Monte carlo digunakan untuk melakukan analisis pada angka-angka yang acak dari suatu distribusi probabilitas. Simulasi merupakan prosedur yang bersifat kuantitatif yang dapat menggambarkan sebuah kejadian dari suatu sistem dan diuji coba untuk memperkirakan sistem dalam waktu tertentu. Simulasi digunakan untuk analisis dalam pemecahan masalah yang kompleks pada dunia nyata yang mengandung ketidakpastian dan kemungkinan yang tidak dapat diperhitungkan secara proses analisis biasa.

Simulasi monte carlo merupakan salah satu metode numerical yang digunakan sebagai percobaan statistik untuk menghitung dan mengestimasi angka yang tidak diketahui (Uher, 1996). Apabila suatu sistem memiliki elemen yang terdapat faktor probabilistic maka model yang tepat digunakan adalah menggunakan montecarlo. Prinsip dasar dari simulasi monte carlo adalah dengan percobaan probabilitas dengan sampel random.

Dalam manajemen proyek, simulasi monte carlo dapat mengukur akibat dari resiko dan ketidakpastian suatu kejadian dari jadwal dan indikator statistik (Kwak & Lisa, 2007)

Oracle crystal ball adalah lembar kerja untuk pemodelan prediksi, peramalan, simulasi, dan optimasi dengan wawasan tak terbatas mengenai faktor-faktor kritis yang mempengaruhi resiko. Aplikasi *crystal ball* dapat diterapkan dalam analisis resiko untuk meningkatkan proses pengambilan keputusan dengan keuntungan sebagai berikut:

1. Meningkatkan data berbasis prediksi
2. Mengidentifikasi resiko
3. Mengkomunikasikan resiko dengan menampilkan hasil simulasi melalui grafik
4. Mengurangi waktu peramalan

II.6. Risiko dan Ketidakpastian

Risiko merupakan variasi dalam hal-hal yang mungkin terjadi secara alami didalam suatu situasi (Fisk, 1997) . Resiko tidak dapat diketahui secara pasti akan terjadi sehingga dapat diartikan sebagai probabilitas kejadian yang muncul pada periode waktu tertentu. Berdasarkan hal tersebut maka risiko dapat dihubungkan dengan probabilitas karena risiko tidak pernah diketahui secara pasti dimana keberadaan dan kapan waktu terjadinya.

Risiko memiliki hubungan dengan ketidakpastian dimana adanya risiko karena adanya ketidakpastian. Secara subjektif mengenai pengertian ketidakpastian merupakan penilaian terhadap situasi risiko.

Ketidakpastian (*uncertainty*) sering diartikan dengan keadaan dimana terdapat kemungkinan kejadian dan setiap kejadian akan menimbulkan hasil yang berbeda namun tingkat kemungkinan kejadian tersebut tidak diketahui secara kuantitatif (Djohanputro, 2004)

Ketidakpastian dalam suatu proyek akan menyebabkan suatu risiko yang mungkin akan terjadi sehingga diperlukan respon dan mitigasi terhadap resiko yang mungkin terjadi.