

2. TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1 Daya Dukung Lingkungan

Konsep daya dukung lingkungan sudah mulai banyak diperbincangkan. Mengingat semakin besarnya tekanan penduduk dan pembangunan terhadap lingkungan. Pertambahan jumlah penduduk dengan aktifitasnya menyebabkan kebutuhan akan lahan bagi kegiatan sosial ekonominya (lahan terbangun) makin bertambah dan sebaliknya lahan tidak terbangun makin berkurang. Selain itu, pertambahan jumlah penduduk juga dibarengi dengan peningkatan konsumsi sumber daya alam sejalan dengan meningkatnya tingkat sosial ekonomi masyarakat. Peningkatan jumlah penduduk dan perubahan pola konsumsi masyarakat akan mempengaruhi daya dukung lingkungannya.

Pengertian daya dukung lingkungan (*carrying capacity*) dalam konteks ekologis adalah jumlah populasi atau komunitas yang dapat didukung oleh sumberdaya dan jasa yang tersedia dalam ekosistem tersebut (Rees, 1990). Faktor yang mempengaruhi keterbatasan ekosistem untuk mendukung perikehidupan adalah faktor jumlah sumberdaya yang tersedia, jumlah populasi dan pola konsumsinya. Konsep daya dukung lingkungan dalam konteks ekologis tersebut terkait erat dengan modal alam. Akan tetapi, dalam konteks pembangunan yang berlanjut (*sustainable development*), suatu komunitas tidak hanya memiliki modal alam, melainkan juga modal manusia, modal sosial dan modal lingkungan buatan. Oleh karena itu, dalam konteks berlanjutnya suatu kota, daya dukung lingkungan kota adalah jumlah populasi atau komunitas yang dapat didukung oleh sumberdaya dan jasa yang tersedia karena terdapat modal alam, manusia, sosial dan lingkungan buatan yang dimilikinya.

Pengertian daya dukung lingkungan menurut Undang-Undang Nomor 23 Tahun 1997 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup yaitu kemampuan lingkungan untuk mendukung perikehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya.

Menurut Greymore (2003), daya dukung lingkungan adalah jumlah maksimum manusia yang dapat didukung oleh bumi dengan sumberdaya alam yang tersedia. Jumlah maksimum tersebut adalah jumlah yang tidak menyebabkan kerusakan pada lingkungan dan kehidupan di bumi dapat berlangsung secara "*sustainable*". Greymore juga menyatakan bahwa daya dukung lingkungan sangat ditentukan oleh pola konsumsi, jumlah limbah yang dihasilkan, dampak bagi lingkungan, kualitas hidup dan tingkat teknologi.

Dalam perkembangannya kemudian, konsep daya dukung lingkungan diaplikasikan sebagai suatu metode perhitungan untuk menetapkan jumlah organisme hidup yang dapat didukung oleh suatu ekosistem secara berlanjut, tanpa merusak keseimbangan di dalam ekosistem tersebut. Penurunan kualitas dan kerusakan pada ekosistem kemudian didefinisikan sebagai indikasi telah terlampauinya daya dukung lingkungan.

Pada *website carrying capacity*, suatu ekosistem adalah jumlah populasi yang dapat didukung oleh ketersediaan sumberdaya dan jasa pada ekosistem tersebut. Batas daya dukung ekosistem tergantung pada tiga faktor yaitu:

- a. Jumlah sumberdaya alam yang tersedia dalam ekosistem tersebut
- b. Jumlah / ukuran populasi atau komunitas
- c. Jumlah sumberdaya alam yang dikonsumsi oleh setiap individu dalam komunitas tersebut.

Pengertian modal alam berdasarkan *website* tersebut adalah meliputi:

1. Sumberdaya alam yaitu semua yang diambil dari alam dan digunakan dengan atau tanpa melalui proses produksi yang meliputi air, tanaman, hewan, dan material alam seperti bahan bakar fosil, logam dan mineral. Penggunaan sumberdaya alam ini akan menghasilkan produk akhir dan limbah.
2. Jasa ekosistem yaitu proses alami yang dibutuhkan bagi kehidupan, seperti sumberdaya perikanan, lahan untuk budidaya, kemampuan asimilasi air dan udara dan sebagainya.
3. Estetika dan keindahan alam yang memiliki kontribusi dalam meningkatkan kualitas hidup dan adalah potensi ekonomi untuk pengembangan pariwisata dan rekreasi.

Modal alam tersebut memiliki kemampuan untuk menghasilkan sumberdaya yang dibutuhkan untuk menyerap limbah yang dihasilkan (*biocapacity*). Berdasarkan pengertian tersebut, maka sumber daya alam memiliki kemampuan untuk mengasimilasi limbah. Kemampuan mengasimilasi limbah disebut bioasimilasi yang didefinisikan sebagai kemampuan dari lingkungan alam untuk mengabsorpsi berbagai material termasuk limbah antropogenik dalam konsentrasi tertentu tanpa mengalami degradasi (Cairns, 1977 diambil dari Cairns, 1999).

Lingkungan mempunyai kemampuan dalam mengasimilasi limbah disebut sebagai daya tampung lingkungan. Daya tampung lingkungan berdasarkan Undang-undang 23 tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup adalah kemampuan lingkungan hidup untuk menyerap zat, energi, dan/atau komponen lainnya yang masuk atau dimasukkan ke dalamnya. Padahal sebenarnya daya tampung lingkungan sudah dapat tercakup dalam pengertian daya dukung lingkungan karena "mendukung perikehidupan" dapat diartikan sebagai mendukung ketersediaan sumber daya yang dibutuhkan sekaligus mengasimilasi limbah dari konsumsi sumberdaya tersebut. Dari pengertian tersebut, daya dukung lingkungan adalah sesuatu yang bersifat dinamis, dapat terdegradasi atau punah apabila tidak dilestarikan dan sebaliknya dapat ditingkatkan kemampuannya.

2.2 Daya dukung lingkungan dan kaitannya dengan berlanjutnya kota

Konsep dasar dari pembangunan yang berlanjut ada dua yaitu konsep kebutuhan (*concept of needs*) dan konsep keterbatasan (*concept of limitations*). Konsep pemenuhan kebutuhan difokuskan untuk meningkatkan kualitas hidup manusia, sementara konsep keterbatasan adalah ketersediaan dan kapasitas yang dimiliki lingkungan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Berlanjutnya pembangunan dapat terwujud apabila terjadi keseimbangan antara kebutuhan dan keterbatasan yang ada saat itu. Upaya keseimbangan itu dapat dilakukan dua arah yaitu dengan mengendalikan kebutuhan dengan mengubah perilaku konsumsi dan sebaliknya meningkatkan kemampuan untuk meminimalkan keterbatasan melalui pengembangan teknologi, finansial, dan institusi. Ativitas yang dilakukan saat ini

untuk memenuhi kebutuhan harus mempertimbangkan keberlanjutan jangka panjang.

Daya dukung alam sangat menentukan bagi keberlangsungan hidup manusia, maka kemampuan daya dukung alam tersebut harus dijaga agar tidak merusak dan berakibat buruk pada kehidupan makhluk hidup di dalamnya. Secara umum kerusakan daya dukung alam dipengaruhi oleh dua faktor:

1. Faktor internal

Kerusakan karena faktor internal adalah kerusakan yang berasal dari alam itu sendiri. Kerusakan karena faktor internal pada daya dukung alam sulit untuk dicegah karena adalah proses alami yang terjadi pada alam yang sedang mencari keseimbangan dirinya, misalnya letusan gunung berapi, gempa bumi, dan badai.

2. Faktor eksternal

Kerusakan karena faktor eksternal adalah kerusakan yang diakibatkan oleh ulah manusia dalam rangka meningkatkan kualitas dan kenyamanan hidupnya, misalnya kerusakan yang diakibatkan oleh kegiatan industri berupa pencemaran darat, air, laut, dan udara.

Lingkungan tidak hanya adalah lingkungan alamiah saja, namun juga lingkungan sosial dan lingkungan binaan. Lebih lanjut lagi, daya dukung dapat diperluas menjadi daya dukung alamiah (lingkungan alam), daya dukung sosial (yang berupa ketersediaan sumber daya manusia dan kemampuan finansial). Jadi dengan adanya pengelolaan lingkungan yang baik dan input teknologi, maka daya dukung lingkungan dapat ditingkatkan kemampuannya, sehingga dapat meningkatkan kualitas hidup makhluk yang ada didalam lingkungan tersebut.

Kota yang "*sustainable*" adalah kota yang perkembangan dan pembangunannya mampu memenuhi kebutuhan masyarakat masa kini, mampu berkompetisi dalam ekonomi global dengan mempertahankan keserasian lingkungan vitalitas sosial, budaya, politik dan pertahanan keamanannya, tanpa mengabaikan atau mengurangi kemampuan generasi mendatang dalam pemenuhan kebutuhan mereka (Budiharjo, E. dan D.Sujiarto, 1999). Untuk menciptakan kota yang

berkelanjutan diperlukan lima prinsip dasar, yaitu *Environment (ecology)*, *Economy (employment)*, *Equity Engagement*, dan *Energy*.

Kemampuan berkembangnya komponen ekonomi komunitas didasarkan atas preservasi dan pengembangan dari stok kapital produktif. Stok kapital produktif dari suatu kota adalah:

1. Lingkungan atau sumber-sumber daya alam
2. Rakyat atau sumberdaya manusia
3. Keuangan atau sumber daya finansial
4. Infrastruktur, fasilitas produktif atau sumberdaya buatan
5. Institusi atau sumberdaya kelembagaan

2.3 Daya Dukung Sumber Daya Air di Perkotaan

Daya dukung sumber daya air pada suatu wilayah adalah tersedianya potensi sumber daya air yang dapat dimanfaatkan oleh makhluk hidup yang ada dalam wilayah tersebut. Potensi air pada suatu wilayah dapat diartikan sebagai *supply* dan kebutuhan air pada wilayah tersebut sebagai *demand*. Idealnya, *demand* tidak melebihi dari kemampuan *supply*, jika *demand* lebih besar dari *supply*, maka dapat dikatakan daya dukung air telah terlampaui. Penerapan teknologi dan pengelolaan lingkungan yang baik dapat mengendalikan kondisi agar daya dukung air tidak terlampaui.

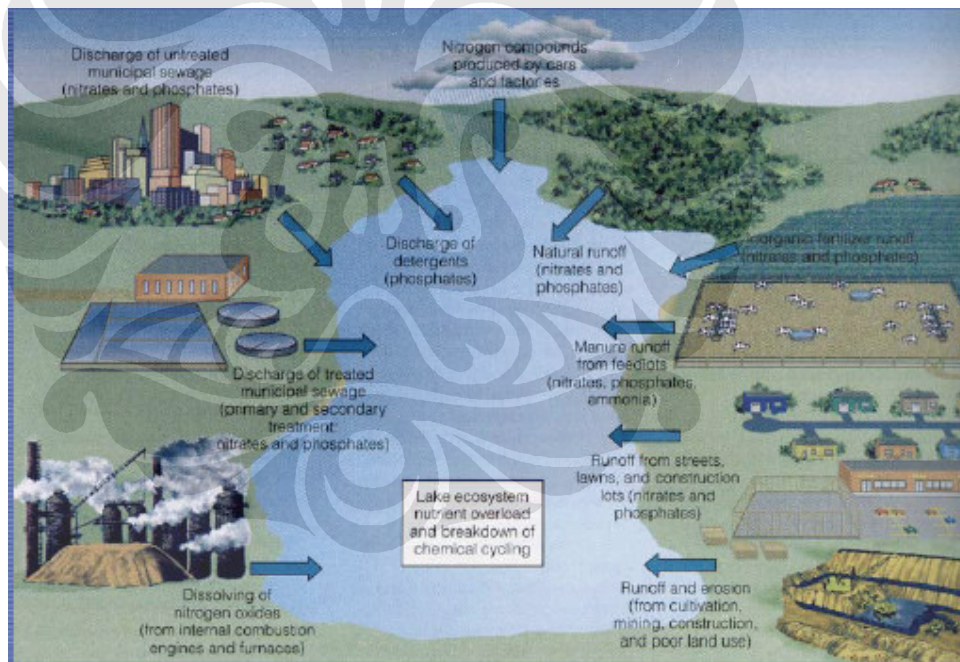
Secara umum beberapa sumber air yang dapat digunakan sebagai alternatif sumber air bersih adalah sebagai berikut:

1. Air permukaan, yaitu air yang ada dan mengalir di permukaan tanah, yang termasuk pada golongan air permukaan antara lain adalah: air laut, air danau, air sungai, air waduk dan air rawa.

Air sungai sering digunakan sebagai sumber air baku untuk sarana penyediaan air bersih, pengairan dan industri. Secara kuantitas, debit aliran sungai umumnya sangat dipengaruhi oleh musim, begitu juga dengan kualitasnya. Pada musim penghujan sungai mengalami pengenceran sehingga kadar pencemaran mengalami penurunan akibat pengenceran tersebut.

Perairan tawar di permukaan bumi dapat membentuk suatu ekosistem, misalnya ekosistem danau atau sungai. Faktor yang paling mempengaruhi ekosistem perairan adalah oksigen terlarut untuk berlangsungnya proses fotosintesis, respirasi dan penguraian dalam perairan; cahaya matahari untuk pengaturan suhu dan berlangsungnya proses fotosintesis.

Beberapa masalah utama yang terjadi pada air permukaan adalah pengeringan atau gangguan terhadap kondisi alami (misalnya dampak pembuatan waduk, irigasi); pencemaran pada badan air misalnya pembuangan limbah industri dan domestik, limbah pertanian yang dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi yaitu suatu proses perubahan fisi, kimia dan biologis yang terjadi dalam suatu badan perairan (biasanya yang alirannya lambat) akibat melimpahnya masukan zat hara (umumnya N dan P) dari luar.



Gambar 1. Pencemaran pada air permukaan

Sumber: *website waterencyclopedia*

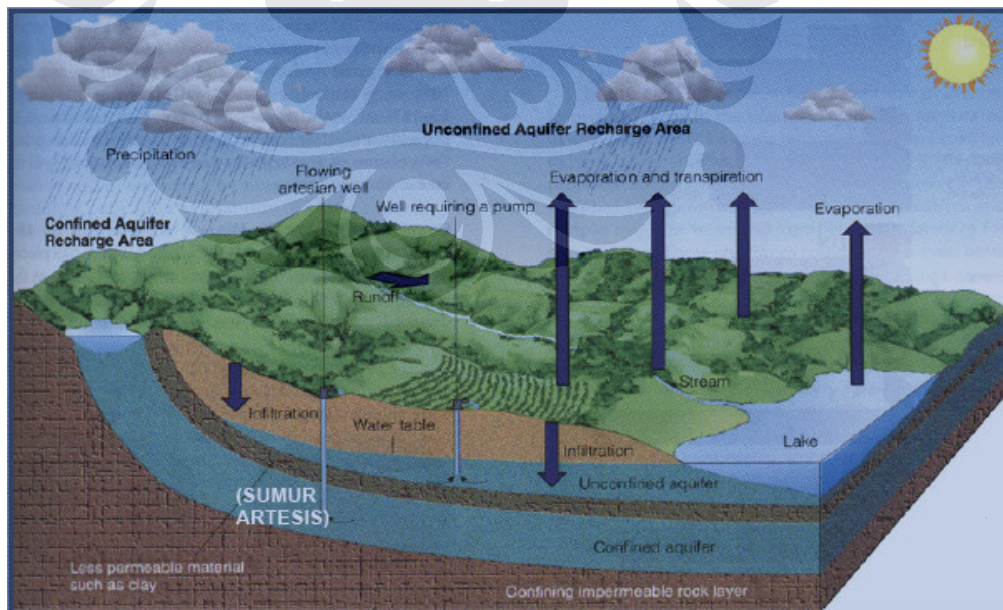
2. Air bawah tanah, terdiri dari:
 - a. Mata air yaitu pemunculan air tanah yang keluar di permukaan tanah secara alamiah. Debit mata air yang ada berubah-ubah (fluktuatif) yang umumnya disebabkan oleh pergantian musim, ada juga yang relatif tetap

(kontinu). Beberapa mata air pada musim kemarau tidak mengalirkan air sama sekali, namun pada musim penghujan airnya akan mengalir kembali (mata air musiman).

b. Air tanah

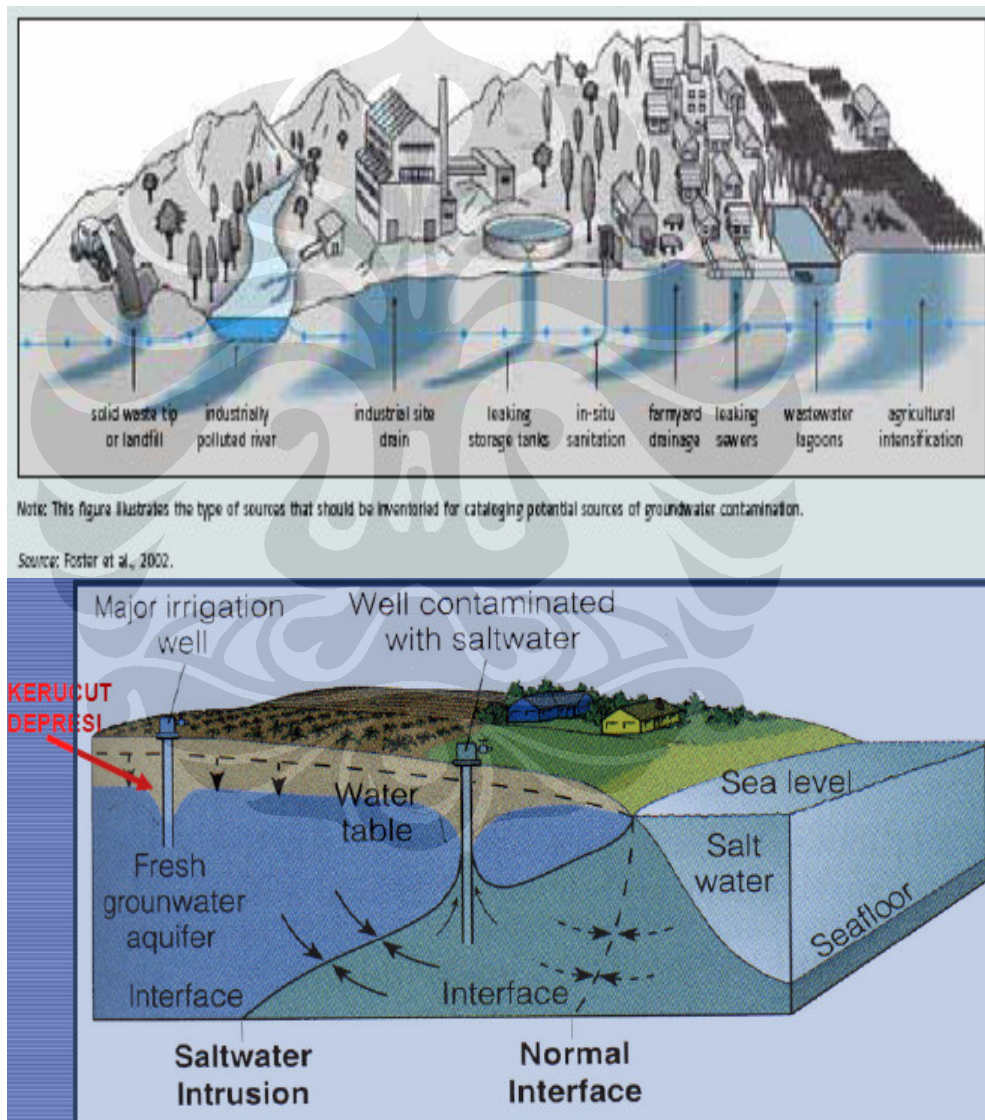
Secara kuantitas, jumlah air tanah yang ada di suatu daerah dapat berbeda dengan daerah lainnya, tergantung dari jumlah cadangan air yang terkandung pada setiap lapisan pembawa air (*aquifer*) yang ada di daerah yang bersangkutan dan kapasitas infiltrasi pada daerah tangkapan air hujan.

Air bawah tanah (*ground water*) atau aquifer (*aquifer*) adalah air yang terdapat pada pori-pori tanah, pasir, kerikil, batuan yang telah jenuh terisi air. Aquifer tidak tertekan (*unconfined aquifer*) mendapatkan air dari proses infiltrasi, sedangkan aquifer tertekan (*confined aquifer*) airnya berasal dari daerah pengisian (*recharge area*) atau resapan air. Muka air tanah (*water table*) adalah garis batas antara air tanah dengan air bawah tanah yang jenuh. Muka air tanah akan mengalami kenaikan pada saat musim hujan dan pada musim kemarau akan mengalami penurunan. Penyebaran air tanah tidak merata, hal ini disebabkan oleh karakteristik tutupan lahan dan kondisi hidrogeologi suatu wilayah.



Gambar 2. Profil air bawah tanah
Sumber: *website waterencyclopedia*

Permasalahan air tanah pada suatu wilayah perkotaan biasanya berupa penurunan kualitas air tanah yang disebabkan antara lain adanya pencemaran pertambangan, pembuangan sampah, penimbunan senyawa berbahaya (radioaktif), penurunan kuantitas antara lain disebabkan oleh perusakan daerah resapan, pengambilan air berlebihan yang dapat mengakibatkan turunnya muka air tanah dan terjadinya intrusi air laut (pergeseran batas air laut dan air tawar ke arah daratan), terjadinya kerucut depresi dan penurunan muka tanah.



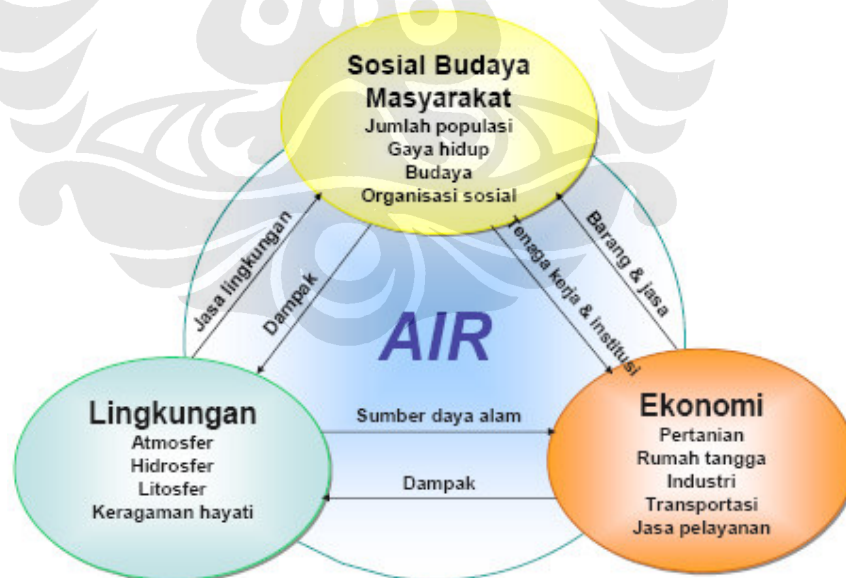
Gambar 3. Permasalahan air tanah di perkotaan

Sumber: modifikasi dari *website waterencyclopedia* dan Foster et al, 2002 dalam *The United Nations World Water Development, 2006*

Laut adalah reservoir air terbesar di bumi yang berfungsi sebagai pengatur iklim, komponen penting dalam daur materi dan aliran energi, habitat makhluk hidup dan sumber pangan bagi manusia, sumber mineral dan energi (minyak bumi, gelombang pasang surut), media transportasi, dan pengencer limbah. Walaupun jumlah air laut melimpah, namun tidak dapat digunakan untuk keperluan domestik, industri dan pertanian yang menggunakan air tawar, kecuali apabila dilakukan proses desalinasi yang sangat mahal.

Permasalahan utama yang terjadi pada air laut adalah perusakan ekosistem (misalnya perusakan terumbu karang dan hutan bakau, pengambilan pasir), laut menjadi tempat pembuangan terakhir bagi segala pencemar air termasuk senyawa beracun dan tumpahan minyak, penangkapan ikan dalam jumlah yang berlebihan dan peningkatan permukaan laut dan perubahan iklim.

Peranan air di alam dan dalam kegiatan manusia sangat kompleks, sehingga perlu pendekatan yang menyeluruh untuk melihat interaksi manusia dengan air dalam konteks ekonomi, lingkungan, dan sosial. Peranan air pada kegiatan manusia dapat dilihat pada gambar 4.

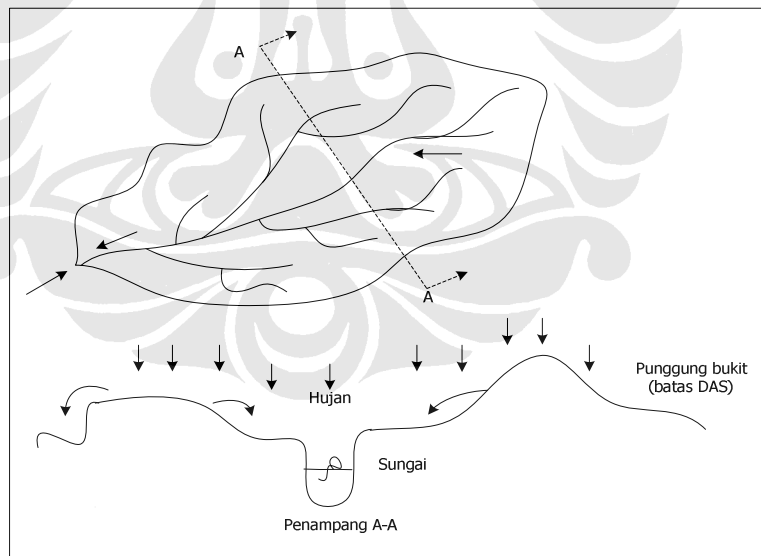


Gambar 4. Peran air dalam kegiatan manusia

Sumber: Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World dalam website waterencyclopedia

Sifat air mengalir dari tempat yang tinggi menuju tempat yang lebih rendah dan tidak dipengaruhi oleh batasan administrasi suatu wilayah, oleh sebab itu untuk mengetahui potensi air tanah pada suatu wilayah dibatasi oleh Cekungan Air Bawah Tanah (CABT) sedangkan potensi air permukaan dalam suatu wilayah dibatasi oleh Daerah Aliran Sungai (DAS).

Daerah aliran sungai adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung atau pegunungan, sehingga air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama di suatu titik atau stasiun yang ditinjau (Triatmodjo, 2006). DAS yang besar tersusun atas DAS yang kecil-kecil atau disebut sub DAS, dan sub DAS tersusun atas beberapa sub-sub DAS. DAS adalah suatu ekosistem, sehingga didalamnya terjadi suatu proses interaksi antara faktor-faktor biotik, abiotik dan manusia. Komponen masukan pada suatu DAS adalah curah hujan, sedangkan komponen keluaran adalah debit air dan muatan sedimen. Luas DAS mempengaruhi jumlah aliran permukaan, sehingga semakin luas DAS maka jumlah aliran permukaan atau debit sungai juga semakin besar.



Gambar 5. Daerah Aliran Sungai

Sumber: Triatmodjo, 2006

Aktivitas didalam DAS dapat menyebabkan perubahan ekosistem, misalnya perubahan tata guna lahan, khususnya di daerah hulu, dapat memberikan dampak di daerah hilir berupa perubahan fluktuasi debit air dan kandungan

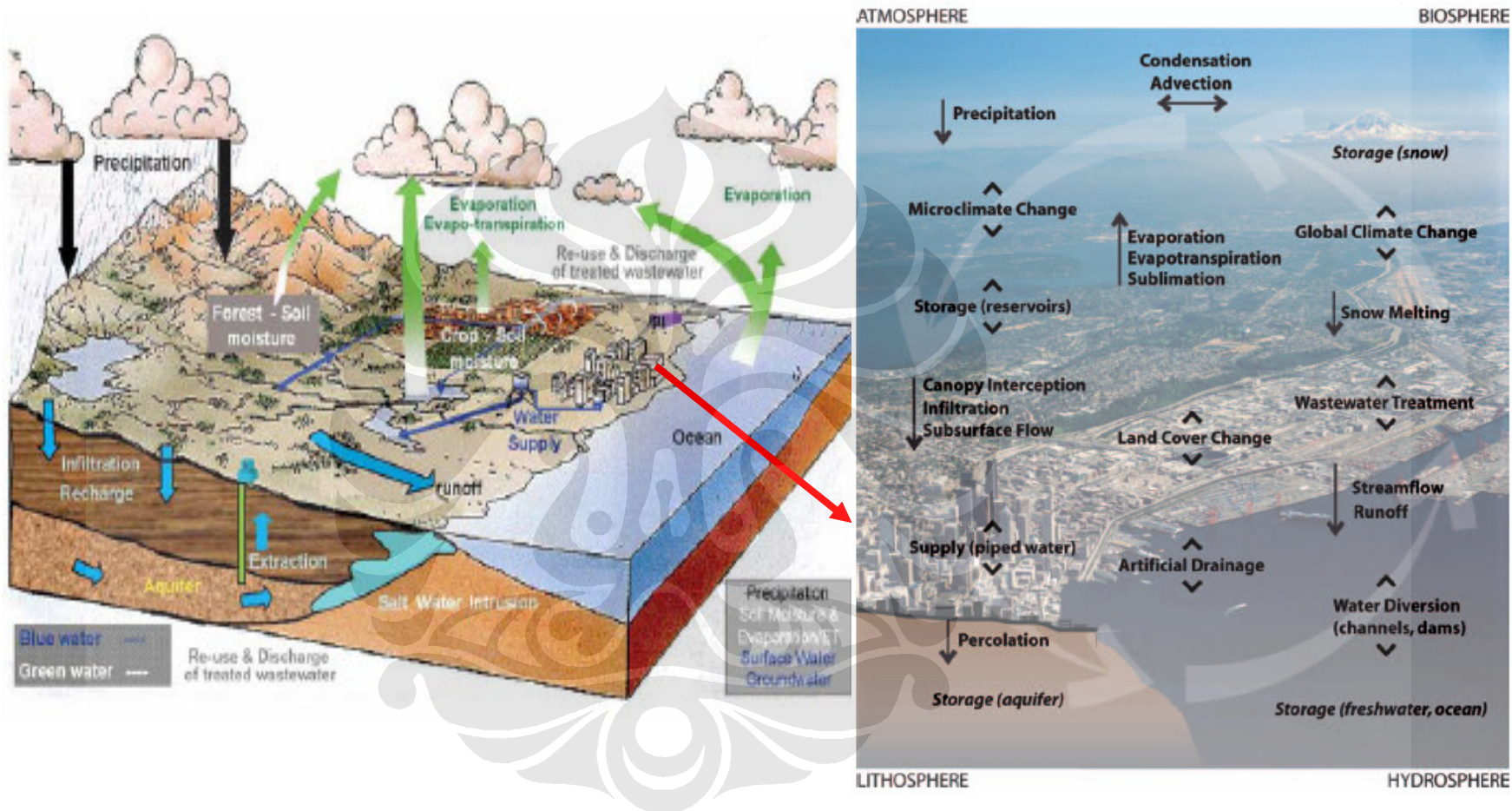
sedimen serta material terlarut lainnya. Adanya hubungan antara masukan dan keluaran pada suatu DAS ini dapat dijadikan sebagai dasar untuk menganalisis dampak suatu tindakan atau aktivitas pembangunan di dalam DAS terhadap lingkungan.

Koefisien aliran permukaan (C) adalah bilangan yang menyatakan perbandingan antara besarnya aliran permukaan terhadap jumlah curah hujan. Sebagai contoh $C=0,65$, artinya 65% dari curah hujan akan mengalir secara langsung sebagai aliran permukaan (*surface run off*). Nilai C yang kecil menunjukkan kondisi DAS masih baik, sebaliknya nilai C yang besar menunjukkan kondisi DAS yang rusak. Nilai C berkisar antara nol sampai dengan satu.

Koefisien Rejim Sungai (KRS) adalah bilangan yang adalah perbandingan antara debit harian rata-rata maksimum dan debit harian minimum. Makin kecil harga KRS berarti makin baik kondisi hidrologis suatu DAS. Selain KRS, kondisi DAS juga dapat dievaluasi secara makro dengan nisbah debit maksimum-minimum (Q_{maks}/Q_{min}). Apabila nisbah Q_{maks}/Q_{min} cenderung terus naik dari tahun ke tahun, maka hal ini menunjukkan kondisi suatu DAS yang mulai terganggu. Menurut Asdak (1995), untuk mengevaluasi kondisi suatu DAS berdasarkan nilai KRSnya, dapat dipakai ketentuan sebagai berikut:

1. Apabila KRS kurang dari 50 ($KRS < 50$), maka kondisi DAS dikategorikan baik
2. Apabila KRS bernilai 50-120, maka kondisi DAS dikategorikan terganggu tapi dalam tingkatan sedang
3. Apabila KRS lebih dari 120 ($KRS > 120$), maka DAS dikategorikan dalam kondisi buruk

Karakteristik suatu DAS dan sub DAS dapat dilihat dari fluktuasi debit sungainya. Idealnya perbandingan antara debit minimum dan debit maksimum tidak terlalu besar, artinya dalam kondisi yang seperti ini air hujan yang jatuh ke permukaan sebagian besar tidak berubah menjadi air limpasan. Ketersediaan air pada suatu DAS pada prinsipnya mengikuti siklus hidrologi (gambar 6).



Gambar 6. Siklus Hidrologi makro dan mikro

Sumber : modifikasi Alberti, 2008 dan The United Nations World Water Development, 2006

Hujan yang jatuh di atas daerah penangkapan (*catchment area*) sebuah DAS, mula-mula diterima oleh vegetasi, kemudian sebagian dilepaskan melalui proses intersepsi (*interception*), dan sebagian lagi jatuh langsung ke bawah pohon, dan sebagian lainnya dialirkan melalui proses aliran batang (*stemflow*). Aliran batang diteruskan ke dalam tanah melalui akar, yaitu yang kemudian dilepaskan ke pori-pori tanah melalui proses infiltrasi. Infiltrasi adalah proses aliran air hujan masuk ke dalam tanah. Air dalam tanah selanjutnya dengan daya gravitasi bergerak menuju tempat yang lebih rendah dengan proses perkolasi, menuju *ground water storage*, penampungan air di bawah tanah, dan dari tempat ini akan mengalir ke sungai secara teratur. Berdasarkan siklus hidrologi, maka untuk memperkirakan potensi air pada suatu DAS, kajian yang dilakukan meliputi hujan pada DAS, kemampuan tanah menampung air hujan dan debit limpasan yang mengalir ke sungai.

Pada konsep dan mekanisme daur hidrologi, yang dimaksud air bawah tanah adalah semua bentuk aliran air hujan yang mengalir di bawah permukaan tanah sebagai akibat struktur pelapisan geologi, beda potensi kelembaban tanah dan gaya gravitasi bumi. Laju maksimal gerakan air masuk ke dalam tanah dinamakan kapasitas infiltrasi yang dinyatakan dalam satuan sama dengan satuan intensitas curah hujan, yaitu mililiter per jam (mm/jam). Ketika air hujan jatuh di atas permukaan tanah, tergantung pada kondisi biofisik tanah, sebagian atau seluruh air hujan tersebut mengalir masuk ke dalam tanah melalui pori-pori permukaan tanah. Proses mengalirnya air hujan ke dalam tanah disebabkan oleh gaya gravitasi dan gaya kapiler tanah. Laju air infiltrasi dibatasi oleh besarnya diameter pori-pori tanah. Di bawah pengaruh gaya gravitasi, air hujan mengalir vertikal ke dalam tanah melalui profil tanah. Pada sisi yang lain, gaya kapiler bersifat mengalirkan air tersebut tegak lurus ke atas, ke bawah, dan ke arah horizontal (*lateral*). Gaya kapiler tanah ini bekerja nyata pada tanah dengan pori-pori yang relatif kecil. Pada tanah dengan pori-pori besar, gaya ini dapat diabaikan pengaruhnya dan air mengalir ke tanah yang lebih dalam oleh pengaruh gaya gravitasi. Dalam perjalanannya tersebut, air juga mengalami penyebaran ke arah lateral akibat tarikan gaya kapiler tanah, terutama ke arah tanah dengan pori-pori yang lebih sempit dan tanah lebih kering.

Mekanisme infiltrasi, dengan demikian melibatkan tiga proses yang tidak saling mempengaruhi, yaitu:

- a. Proses masuknya air hujan melalui pori-pori permukaan tanah
 - b. Tertampungnya air hujan tersebut ke dalam tanah
 - c. Proses mengalirnya air tersebut ke tempat lain (bawah, samping dan atas).
- Meskipun tidak saling mempengaruhi secara langsung, ketiga proses tersebut di atas saling terkait.

Uraian di atas menunjukkan bahwa besarnya laju infiltrasi pada permukaan tanah tidak bervegetasi tidak akan pernah melebihi laju intensitas hujan. Untuk wilayah berhutan, besarnya laju infiltrasi tidak akan pernah melebihi laju intensitas curah hujan efektif. Curah hujan efektif adalah volume hujan total dikurangi air hujan yang mengalir ke dalam tanah (air infiltrasi).

Aplikasi praktis peranan air infiltrasi adalah kaitannya dengan usaha konservasi air. Konservasi air biasanya diprioritaskan di daerah resapan (*recharge area*) yang umumnya terletak di daerah dengan karakteristik wilayah yang didominasi vegetasi (hutan dan bentuk komunitas vegetasi lainnya) dan dengan curah hujan besar. Daerah resapan biasanya memiliki nilai koefisien resapan yang besar. Koefisien resapan adalah banyaknya volume curah hujan yang mengalir sebagai air infiltrasi terhadap total curah hujan.

Manusia berinteraksi dengan daur air melalui berbagai kegiatannya, antara lain dengan: menggunakan air permukaan dan air tanah, melepaskan limbah atau pencemar dari berbagai sumber (perumahan, perkantoran, pertanian, industri) ke dalam perairan, bahkan mempengaruhi uap air di atmosfer, mengubah bentang alam sehingga mempengaruhi air larian dan kualitas air permukaan dan air tanah.

2.4 Permasalahan Air Global

Permasalahan menyangkut sumber daya air diantaranya peningkatan jumlah penduduk yang ekuivalen dengan peningkatan kebutuhan air, penurunan kualitas lingkungan perairan sebagai akibat penggunaan lahan yang tidak memperhatikan fungsi lindung suatu kawasan, penurunan kuantitas dan kualitas air tawar

sebagai akibat dari kegiatan domestik maupun non domestik, penyebaran air yang tidak merata secara ruang dan waktu (apabila musim hujan terjadi banjir dan apabila musim kemarau terjadi kekeringan), penggunaan bersama sumber daya air oleh beberapa wilayah sehingga terjadi persaingan.

Sumber pencemara air diantaranya: limbah rumah tangga misalnya sabun, tinja; sedimen anorganik misalnya N dan P dari pupuk, logam berat; senyawa organik misalnya pestisida, minyak; bahan radiokatif misalnya limbah pertambangan; agen penyebab penyakit misalnya bakteri, virus; pencemar biologis misalnya spesies tumbuhan yang tumbuh di perairan sehingga menghalangi fotosintesis tumbuhan air; pencemar dari kegiatan industri misalnya air limbah.

2.5 Dampak Perubahan Iklim Terhadap Daya Dukung Air

Iklim di bumi tidak selalu konstan begitu pula dengan kondisi iklim dalam suatu wilayah juga bervariasi. Indonesia mempunyai peranan strategis dalam struktur iklim geografi dunia karena sebagai negara tropis ekuator yang mempunyai hutan tropis basah terbesar kedua di dunia dan neagra kepulauan yang memiliki laut terluas di dunia mempunyai fungsi sebagai penyerap gas rumah kaca yang besar.

Dampak perubahan iklim pada lingkungan diantaranya:

- a. Es dan salju: perubahan yang terjadi di wilayah tertutup es,
- b. Lautan dan pantai: perubahan angin dan arus, badai tropis yang buruk, kerusakan ekosistem pantai,
- c. Sistem hidrologi: perubahan curah hujan dan kelembaban tanah,
- d. Ekosistem dan tumbuh-tumbuhan: perubahan daerah vegetasi dan campuran spesies, pengurangan keanekaragaman hayati.

Dampak perubahan iklim terhadap masyarakat, diantaranya:

- a. Sumber mata air: banjir di musim dingin dan kekeringan di musim panas
- b. Pangan dan pertanian: perubahan musim tanam, hasil tanaman, penyebaran hama, dan daerah yang dapat ditanami, perhutanan dan perikanan
- c. Permukiman di sekitar pantai: banjir pantai, kebutuhan akan pengamanan daerah pantai, kerusakan terhadap pariwisata

- d. Kegiatan ekonomi: perubahan kebutuhan energi, efek yang ditimbulkan pada transportasi dan perindustrian
- e. Permukiman dan kesehatan: efek yang ditimbulkan pada infrastruktur, penambahan jumlah pengungsi, perubahan pola penyakit

Salah satu persoalan kebutuhan manusia yang terpengaruh sebagai dampak pemanasan global tersebut adalah ketersediaan air. Ketersediaan air adalah permasalahan yang penting yang terkait dengan perubahan iklim. Peningkatan penduduk bumi berkorelasi dengan kebutuhan air. Kebutuhan yang meningkat akan semakin menekan pada sistem air global yang berkaitan dengan efek pemanasan global. Peningkatan jumlah penduduk dan ekonomi menjadi pendorong utama kebutuhan air, sementara itu ketersediaannya dipengaruhi oleh peningkatan evaporasi (penguapan) akibat peningkatan temperatur permukaan bumi. Hal ini berkorelasi pada kebutuhan akan adanya manajemen terintegrasi sumber daya air, yang bila tidak dilakukan akan berdampak pada pengrusakan sumber daya air secara fisik, institusional, dan selanjutnya berimplikasi pada sosioekonomi.

Perubahan iklim menyebabkan perubahan pada temperatur harian suatu wilayah, akibatnya volume air yang menguap dan kemudian jatuh menjadi curah hujan akan mengalami perubahan, sehingga juga akan mempengaruhi pengisian air tanah maupun air yang melimpas ke sungai. Tidak hanya pada aspek kuantitas, kualitas air pun akan menerima dampak buruk terhadap perubahan iklim. Dengan berkurangnya debit limpasan maka pengenceran yang terjadi akan makin berkurang dan arus air menjadi kecil yang lebih lanjut mengurangi aerasi alamiah pada badan sungai sehingga menurunkan kemampuan sungai menetralkan polutan. Selain itu meningkatnya temperatur, berdampak pula pada temperatur air permukaan, sehingga menyebabkan beberapa organisme tidak dapat bertahan hidup, akibatnya ekosistem perairan terganggu keseimbangannya.

Perubahan iklim ditandai dengan perubahan dua faktor meteorologi penting, yaitu temperatur dan curah hujan, yang kemudian dapat menyebabkan kenaikan muka air laut. Perubahan temperatur ini akan menyebabkan perubahan variabel

atmosfer lainnya, yang pada akhirnya akan menyebabkan perubahan curah hujan. Perubahan curah hujan yang dimaksud tidaklah mengubah jumlah curah hujan, tapi yang berubah secara drastis adalah distribusinya. Artinya pada musim hujan, suatu daerah akan mengalami hujan lebih banyak dan pada musim kemarau akan mengalami hujan yang lebih sedikit. Dengan kondisi yang disebutkan di atas, pada musim hujan potensi terjadinya bencana seperti banjir, longsor, dan penyebaran penyakit melalui vektor dapat meningkat. Dan pada musim kemarau bencana akan terus berlanjut seperti dengan adanya kekeringan sehingga akan menyebabkan gagal panen dan menimbulkan berbagai macam penyakit seperti penyakit kulit dan gangguan pencernaan.

Pola curah hujan Indonesia adalah tipe V atau tipe monsoon, atau curah hujan dengan grafik tahunan berbentuk seperti huruf V. Artinya, Indonesia pada umumnya akan mengalami presipitasi dalam jumlah banyak pada bulan Desember – Februari dan akan mengalami sedikit presipitasi pada bulan Juni – Agustus. Sedangkan bulan Maret – Mei dan September – November disebut sebagai musim peralihan. Pada musim peralihan ini, kondisi curah hujan dan angin sangat tidak menentu, hal ini disebabkan oleh perubahan angin pasat maupun monsoon oleh karena adanya pergeseran sumber panas (tekanan).

Berikut adalah beberapa hasil perhitungan proyeksi *runoff* dengan skenario perubahan iklim yang berbeda-beda. *Runoff* tahunan akan mengalami penurunan sebesar 41% dari *runoff* tahunan saat ini apabila ada penurunan curah hujan sebesar 20% dan peningkatan temperatur sebesar 2°C. Jika tidak ada perubahan curah hujan, *runoff* tetap akan naik sebesar 9%. Namun apabila ada peningkatan curah hujan sebesar 10% dan kenaikan temperatur sebesar 2°C hingga 4°C akan menghasilkan kenaikan *runoff* mulai dari 4 hingga 12% (Hailemariam, 1999 dalam WWF dan Institut Teknologi Bandung, 2008).

Penelitian sejenis juga telah dilakukan untuk menghitung besaran *direct runoff* untuk wilayah Jakarta untuk menganalisis kejadian banjir di Jakarta tahun 2005. Setelah dilakukan perhitungan untuk kasus banjir 17-20 Januari 2005 pada Daerah Tangkapan Kali Angke, Pesanggrahan dan Grogol, diperoleh hasil yang cukup baik. Nilai *Direct Run Off* (DRO) maksimum pada tanggal 19 Januari 2005

sebesar 3,76 inci, kenaikan DRO mulai terjadi pada tanggal 17 hingga 18 Januari 2005, karena curah hujan yang tinggi pada 17 Januari (2,23 inci). Pada 19 Januari 2005, DRO mencapai nilai maksimum yaitu 3.76 inci ketika curah hujan prediksi 4.11 inci. Kemudian nilainya mulai berkurang hingga mencapai kurang dari 1 inci pada 21 Januari. Puncak terjadinya DRO pada tanggal 19 Januari 2005 sesuai dengan puncak terjadinya banjir pada tanggal 19 Januari 2005. Besarnya DRO pada tanggal 19 Januari 2005 adalah akibat dari besarnya curah hujan pada tanggal 19 Januari 2005 dan juga adanya akumulasi curah hujan. Tanah yang jenuh akibat hujan pada hari-hari sebelumnya mengakibatkan tanah menjadi jenuh oleh air hujan, sehingga ketika tanggal 19 hujan kembali turun dengan CH yang besar, air hujan banyak yang mengalir di permukaan dan menyebabkan DRO besar. Nilai DRO paling besar pada daerah-daerah pemukiman sedangkan DRO kecil pada daerah-daerah yang hijau seperti rumput, kebun dan persawahan. Hal ini menunjukkan bahwa perhitungan DRO dengan menggunakan Metode *Soil Conservation Service* cukup baik digunakan untuk menghitung DRO sebab sudah memperhitungkan tutupan lahan, jenis tanah juga kelembaban tanah (Herlianti,2007 dalam WWF dan Institut Teknologi Bandung, 2008).

Penelitian yang dilakukan oleh WWF bersama Institut Teknologi Bandung (ITB) tentang dampak perubahan iklim terhadap pengelolaan DAS Citarum (2008), menyebutkan bahwa pola curah hujan dai DAS Citarum adalah tipe moonson. Diketahui bahwa presipitasi rata-rata bulanan Januari adalah 362,4 mm (14,27 inci) sedangkan presipitasi rata-rata bulanan untuk bulan Juli adalah 99,04mm (3,91 inci). Hal ini menunjukkan bahwa pola curah hujan yang terjadi di daerah DAS Citarum adalah pola curah hujan monsoon. Dengan pola curah hujan jenis ini, maka jelas bahwa pada bulan Januari daerah pengamatan akan mendapatkan air berlimpah dari presipitasi, sehingga apabila tidak dikelola dengan benar bisa berpotensi untuk menyebabkan terjadinya berbagai bencana, namun dengan sistem pengelolaan yang baik, maka kelimpahan curah hujan pada musim hujan dapat dimanfaatkan untuk pengairan dan persediaan air bersih pada musim kering.

Musim kering yang diwakili oleh bulan Juli menunjukkan perbedaan yang mencolok dalam jumlah curah hujan. Hal ini dapat mengakibatkan kekeringan,

gagal panen, dan kekurangan air bersih pada periode musim kemarau. Kondisi inipun akan mempengaruhi kondisi DAS Citarum, pada musim hujan, jumlah resipitasi yang terjadi dapat menyebabkan peluapan pada badan-badan sungai, sehingga berpotensi menimbulkan banjir. Namun bila dikelola dengan baik, maka dapat dimanfaatkan untuk menambah debit sungai sehingga dapat membantu pemanfaatan dam di wilayah DAS Citarum.

Dalam penelitian ini dampak perubahan iklim terhadap ketersediaan air tidak dibahas lebih lanjut, dikarenakan terbatasnya data untuk dapat digunakan sebagai sarana menganalisis dampak perubahan iklim pada ketersediaan air di Kota Bekasi maupun DAS Bekasi.

2.6 Dampak Perubahan Lahan Terhadap Daya Dukung Air

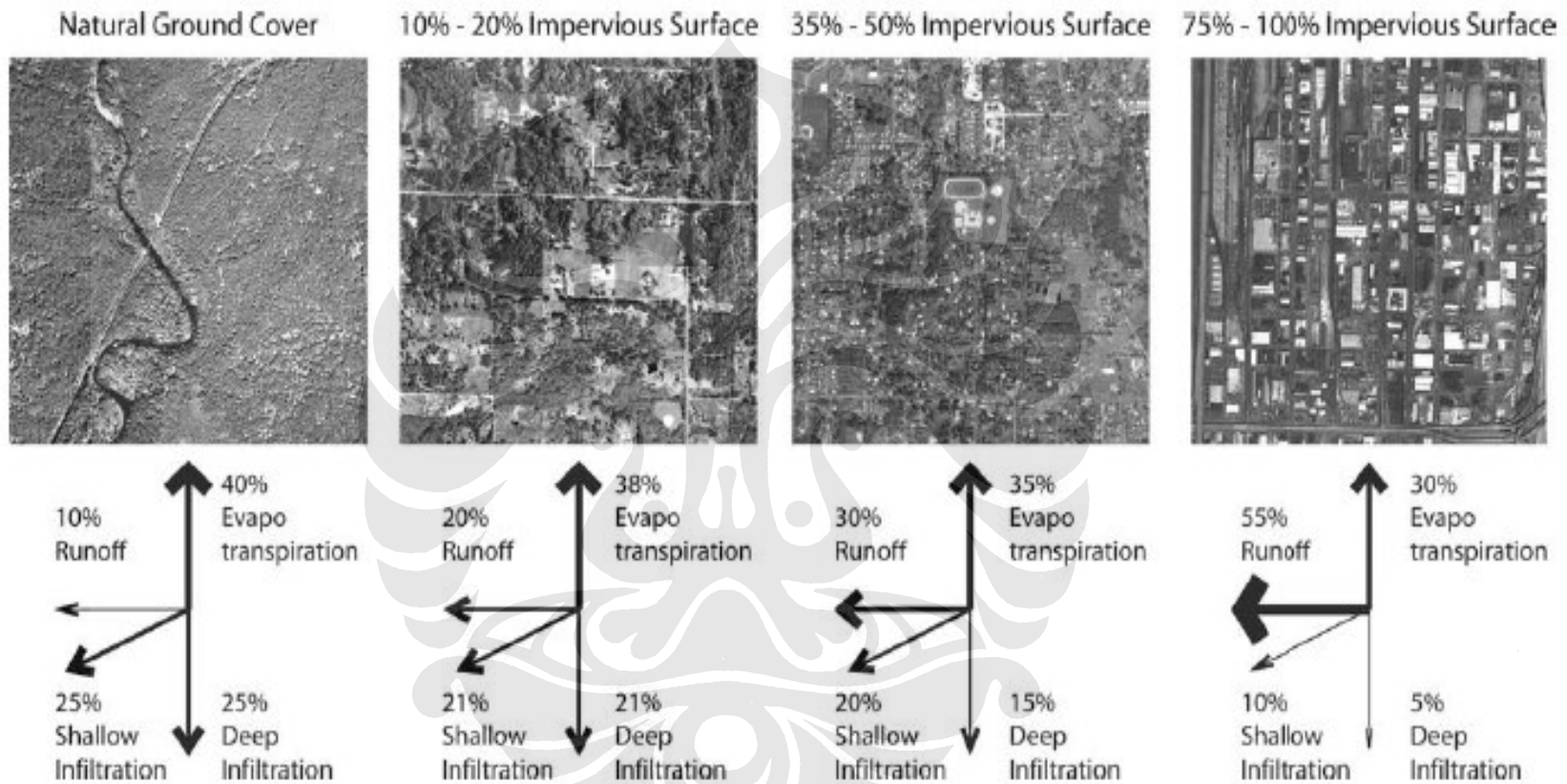
Urbanisasi yang terjadi pada suatu wilayah adalah salah satu faktor yang mendorong meningkatnya kebutuhan lahan untuk permukiman dan pembangunan sarana pendukungnya. Terbentuknya Kota Bekasi secara tidak langsung juga sebagai akibat tingginya permintaan terhadap barang dan jasa dari Kota Jakarta.

Menurut Alberti (2008), perubahan terhadap karakteristik tutupan lahan suatu wilayah berpengaruh pada siklus hidrologi dalam wilayah tersebut, karena mempengaruhi proses evaporasi, evapotranspirasi, presipitasi dan infiltrasi. Perubahan karakteristik tutupan lahan akan berdampak pada perubahan iklim mikro dalam suatu wilayah. Iklim di daerah perkotaan yang karakteristik lahannya dominan lahan terbangun dan permukiman padat akan relatif lebih tinggi suhunya (panas) dibandingkan dengan iklim di daerah pedesaan yang karakteristik tutupan lahannya dominan pertanian dan kebun atau jenis lahan tidak terbangun lainnya. Perubahan iklim mikro tersebut akan berdampak terhadap proses evaporasi dan evapotranspirasi, serta kelembaban tanah. Perubahan evaporasi dan evapotranspirasi lebih lanjut akan mempengaruhi presipitasi. Kelembaban tanah yang mengalami perubahan akan berdampak

terhadap kemampuan tanah untuk menyimpan air, begitu juga dengan perubahan presipitasi akan berdampak pula terhadap jumlah simpanan air.

Perubahan karakteristik tutupan lahan akan berdampak juga dengan meningkatnya volume air larian (*run off*). Dengan adanya perkerasan akibat perubahan lahan tidak terbangun menjadi lahan terbangun, maka air yang jatuh ke permukaan sebagian besar akan mengalir menjadi air larian, dan hanya sebagian kecil yang tersimpan sebagai air tanah. Meningkatnya debit air larian ini juga berdampak terhadap kualitas badan air, karena air larian pasti membawa partikel-partikel yang dapat mengganggu ekosistem perairan, misalnya nutrisi berupa Karbon, Fosfor, Nitrogen, sedimen, sampah dan bahan-bahan organik maupun anorganik lainnya, bahkan tidak menutup kemungkinan zat yang terbawa adalah zat beracun.

Perubahan di suatu perkotaan telah menyebabkan terjadinya perubahan morfologi permukaan, kualitas, kuantitas dan debit *run off* serta gangguan pada DAS dan perubahan pada kondisi hidrologi pada wilayah tersebut. Peningkatan luasan lahan terbangun akibat meningkatnya urbanisasi akan menurunkan kemampuan daerah aliran sungai untuk menangkap, menahan dan memfiltrasi air hujan dan terjadi peningkatan terhadap debit limpasan. Berkurangnya infiltrasi menyebabkan cadangan air untuk menghadapi musim kemarau berkurang akibatnya dapat terjadi kekeringan, disisi lain meningkatnya debit limpasan dapat menyebabkan banjir pada musim penghujan, karena kapasitas sungai untuk menampung air terlampaui dan kondisi ini lebih diperparah lagi apabila kondisi sungai mengalami pendangkalan dan kerusakan. Ilustrasi pengaruh perubahan karakteristik tutupan lahan terhadap siklus hidrologi dan jumlah relatif air yang berinfiltrasi dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh perubahan karakteristik tutupan lahan terhadap debit limpasan
 Sumber : Alberti, 2008

2.7 Kebutuhan Air Perkotaan

2.7.1. Pengertian Kota

Kota adalah suatu sistem jaringan kehidupan manusia yang memiliki kecirian sosial seperti jumlah penduduk yang tinggi, strata sosial ekonomi yang heterogen dengan corak yang materialistis. Berbeda dengan desa, kota memiliki kondisi fisik yang relatif lebih modern, seperti kondisi sarana dan prasaran jaringan transportasi yang kompleks, sektor pelayanan dan industri yang lebih dominan (Koestoer, 1997). Kota cenderung memiliki penduduk yang lebih padat dibandingkan dengan desa.

Desa adalah hasil perpaduan antara kegiatan sekelompok manusia dengan lingkungannya. Perpaduan tersebut tertuang dalam kenampakannya di permukaan bumi, yang tidak lain berasal dari komponen-komponen fisiografi, sosial, ekonomi, politik dan budaya yang saling berinteraksi. Kecirian fisik ditandai dengan transportasi yang langka, penggunaan tanah persawahan, perilaku gotong royong dan ikatan kekeluargaan yang masih erat (Koestoer, 1997).

Permukiman di suatu perkotaan telah menyebabkan terjadinya perubahan morfologi permukaan, kualitas, kuantitas dan debit *un off* serta gangguan pada daerah aliran sungai (DAS).

Daerah yang mengalami pengaruh sangat kuat dari suatu kota disebut sebagai *urban fringe* atau dapat pula disebut daerah peralihan. Daerah ini ditandai oleh berbagai karakteristik seperti: peningkatan harga tanah yang drastis, perubahan fisik penggunaan tanah, perubahan komposisi penduduk dan tenaga kerja, serta berbagai aspek lainnya. Pada wilayah ini terdapat dua kelompok penduduk, yaitu penduduk perdesaan tradisional dan penduduk kota yang melimpah ke daerah tepi atau penduduk kota yang berurbanisasi. Hal ini dapat dilihat dari ciri penyebaran permukimannya, dalam makna tingkat keteraturan, kebersihan dan ketertiban sosial lainnya. Daerah peralihan yang banyak dipengaruhi oleh pola kehidupan kota ditandai oleh bentuk-bentuk campuran antara perumahan teratur

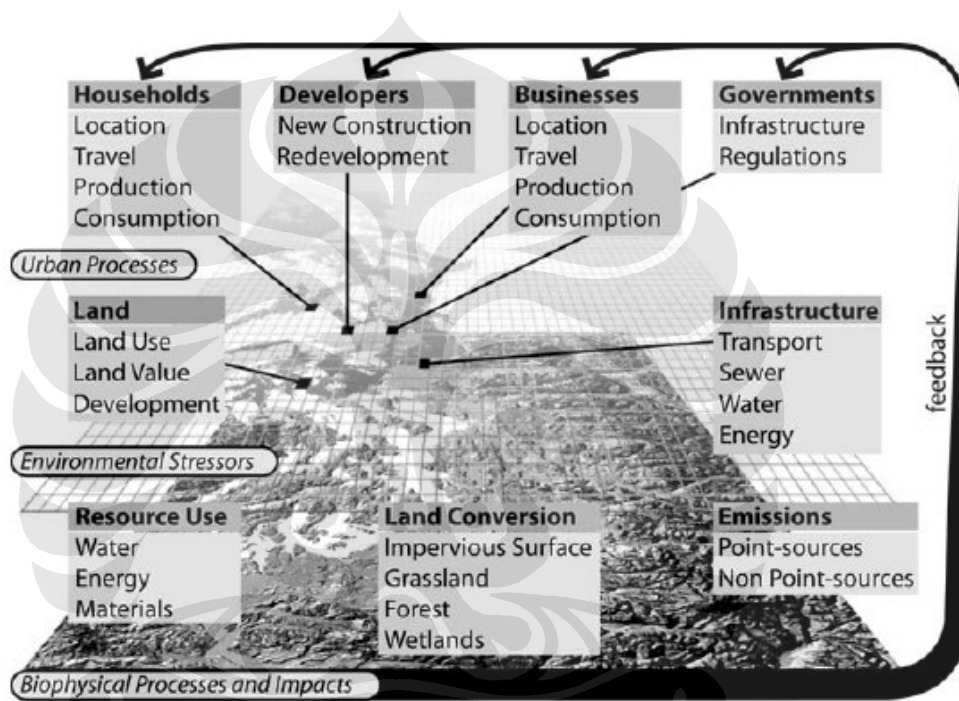
yang dibangun oleh *developer* dan perumahan asli tradisional setempat (Bar-Gal, 1987 dalam Koestoer, 1997).

Pola penyebaran permukiman di wilayah peralihan pembentukannya berakar dari pola campuran antara ciri perkotaan dan perdesaan. Ada perbedaan mendasar antara pola campuran antara ciri perkotaan dan di perdesaan. Wilayah permukiman di perkotaan yang sering disebut sebagai daerah perumahan, memiliki keteraturan bentuk secara fisik. Artinya, sebagian besar rumah menghadap secara teratur ke arah kerangka jalan yang ada dan sebagian besar terdiri dari bangunan permanen, ber dinding tembok dan dilengkapi dengan penerangan listrik. Kerangka jalannya pun ditata secara bertingkat mulai dari jalan raya, penghubung hingga jalan lingkungan atau lokal. Saat ini wilayah permukiman masyarakat kota banyak berubah sejalan dengan pembangunan rumah susun (rusun) yang umumnya diperuntukkan bagi sekelompok masyarakat ekonomi menengah kebawah dan kondominium untuk masyarakat ekonomi menengah ke atas.

Karakteristik kawasan permukiman penduduk pedesaan ditandai oleh ketidakteraturan bentuk fisik rumah. Pola permukimannya cenderung berkelompok membentuk perkampungan yang letaknya tidak jauh dari sumber air, biasanya sungai. Pola permukiman perdesaan masih sangat tradisional banyak mengikuti pola bentuk sungai, atau dapat juga dipengaruhi oleh kerangka jalan lokal yang bentuknya tidak beraturan. Posisi bangunan rumah perdesaan menghadap ke arah yang tidak teratur.

Manusia adalah salah satu bagian dari ekosistem perkotaan, dan aktifitas manusia sangat menentukan keseimbangan dalam ekosistem. Manusia mengeksploitasi sumber daya alam dan menghasilkan limbah (berupa limbah cair dan limbah padat), manusia juga menciptakan lingkungan buatan dan lingkungan sosial untuk mendukung kebutuhannya. Lingkungan buatan yang diciptakan manusia kadang-kadang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan, karena proses pembuatan maupun dampak dari terciptanya ekosistem lingkungan buatan mengabaikan keharmonisan dengan konsep alam. Kerusakan akibat tekanan yang diterima lingkungan akibat aktifitas manusia pada

prinsipnya akan berdampak juga terhadap kesejahteraan hidup manusia dan berlanjutnya kehidupan dalam suatu ekosistem. Namun dampak tersebut tidak terjadi seketika melainkan terjadi dalam kurun waktu tertentu, sehingga manusia kadang tidak menyadari, sehingga lingkungan tidak mendapatkan prioritas utama dalam proses perencanaan suatu kota maupun proses pembuatan kebijakan. Ilustrasi dampak kegiatan manusia dalam ekosistem perkotaan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Manusia sebagai bagian dari ekosistem perkotaan

Sumber: Integrated Ecological and Urban Development Model (PRISM 2000, edisi revisi) dalam Alberti, 2008)

2.7.2. Kebutuhan Air Perkotaan

Kebutuhan air perkotaan meliputi kebutuhan air domestik dan nondomestik. Perhitungan kebutuhan air domestik, umumnya dihitung dengan cara mengalikan jumlah penduduk dengan rata-rata konsumsi air per orang per hari. Standard konsumsi air bersih yang ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum dalam

Petunjuk Teknis Penyediaan Sistem Air Bersih Perkotaan pada tahun 2003 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsumsi air per orang per hari sesuai dengan kategori kota

No	Kategori Kota	Jumlah Populasi	Konsumsi air
		orang	(l/orang/hari)
1	Metropolitan	> 1.000.000 capita	190
2	<i>Large city</i>	500.000 - 1.000.000	170
3	<i>Medium city</i>	100.000 - 500.000	150
4	<i>Small city</i>	20.000 - 100.000	130
5	Kecamatan/ <i>Sub-regional city</i>	3.000 - 20.000	100
6	<i>Rural city</i>	0 - 3.000	60

Sumber : Petunjuk Teknis Penyediaan Sistem Air Bersih Perkotaan, Departemen Pekerjaan Umum, 2003

Kebutuhan air non domestik untuk perkotaan dikelompokkan berdasarkan jenis kegiatan yang ada pada suatu perkotaan, biasanya terdiri atas: kebutuhan air untuk kegiatan pertanian, peternakan, perikanan, industri, fasilitas umum dan sosial, perdagangan dan jasa, pemeliharaan dan penggelontoran sungai, pemadam kebakaran, dan pertamanan. Standard kebutuhan air nondomestik untuk perkotaan dapat dihitung dengan mengacu pada standard yang ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum.

Kebutuhan air untuk kegiatan industri dalam suatu kawasan perkotaan, khususnya di Indonesia sangat sulit untuk mendeskripsikan secara tepat atau setidaknya yang dapat menggambarkan kondisi yang ada. Hal ini dikarenakan minimnya data mengenai industri dan kapasitas produksinya. Beberapa standard ada yang memakai jumlah pegawai untuk mengkategorikan jenis industri kemudian kebutuhan air digolongkan berdasarkan jenis industrinya (kecil, sedang, besar), dan ada pula standard yang memakai data luas lahan industri sebagai dasar penetapan kebutuhan air rata-rata. Penelitian ini mencoba mengkombinasikan beberapa standard pemakaian air industri berdasarkan kapasitas produksi dari masing-masing jenis industri dengan mengacu pada beberapa literatur yang ada dan disesuaikan dengan keterbatasan data dan informasi yang dimiliki.

2.7.3. Proyeksi Kebutuhan Air Untuk Kawasan Perkotaan

Teknik estimasi ataupun proyeksi jumlah penduduk dimasa mendatang sangat diperlukan untuk tujuan perencanaan pembangunan dan penilaian program baik oleh pemerintah pusat maupun oleh pemerintah daerah. Proyeksi jumlah penduduk dianggap sebagai persyaratan minimum proses perencanaan pembangunan. Metode proyeksi penduduk ada tiga, yaitu:

A. *Mathematical Method*

Mathematical Method digunakan apabila data mengenai komponen pertumbuhan penduduk tidak diketahui, sehingga yang dianggap dalam perhitungan adalah penduduk keseluruhan.

c. Metode Linier dengan cara aritmatik dan geometrik

Metode linier artinya data perkembangan penduduk menggambarkan kecenderungan garis linier, meskipun perkembangan penduduk selalu bertambah (fluktuatif).

1. Metode linier dengan cara aritmatik

Pertumbuhan penduduk secara aritmatik adalah pertumbuhan penduduk dengan jumlah (*absolut number*) yang dianggap sama setiap tahun. Rumus yang digunakan adalah:

$$P_n = P_0(1+rn) \dots\dots\dots \text{Persamaan 1}$$

P_n : jumlah penduduk pada tahun n

P_0 : jumlah penduduk awal tahun (dasar)

n : periode waktu dalam tahun

r : angka pertumbuhan penduduk (rata-rata pertumbuhan penduduk per tahun)

Metode ini sesuai untuk daerah yang mempunyai perkembangan penduduk yang relatif konstan dan dalam kurun waktu yang pendek (kurang atau sama dengan lima tahun) atau kurun waktu proyeksi sama dengan waktu perolehan data. Pada dasarnya metode ini kurang baik digunakan, karena jumlah pertambahan penduduk tidak mungkin jumlahnya sama.

2. Metode linier dengan cara Geometrik

Metode ini menganggap bahwa perkembangan jumlah penduduk (konsumen) secara otomatis berganda. Metode ini tidak

memperhatikan kemungkinan suatu saat terjadi perkembangan menurun dan kemudian mantap yang disebabkan oleh kepadatan yang merakah maksimal. Perhitungan proyeksi jumlah (penduduk) konsumen dengan Metode Geometrik dinyatakan dengan persamaan:

$$P_n = P_o (1+r)^n \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 2}$$

P_n : jumlah penduduk tahun ke-n

P_o : jumlah penduduk tahun awal

r : rata-rata prosentase pertambahan penduduk per tahun

n : periode waktu proyeksi

Metode ini sesuai untuk daerah yang pertambahan penduduknya berganda, kepadatan penduduk mendekati maksimum dan dalam kurun waktu yang cukup lama.

3. Metode linier dengan cara *Last Square*

Metode ini menganggap garis regresi yang dibuat akan memberikan penyimpangan nilai data atas data penduduk masa lalu dan juga karakteristik perkembangan penduduk di masa lalu, berlaku pula untuk masa depan. Persamaan yang digunakan adalah :

$$P_n = a + b (t) \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 3}$$

t : tambahan tahun terhitung dari tahun dasar

$$a : \frac{(\sum P \times \sum t^2) - (\sum t \times \sum (P \times t))}{n(\sum t^2) - (\sum t)^2} \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 4}$$

$$b : \frac{n\sum (P \times t) - (\sum P \times \sum t)}{n(\sum t^2) - (\sum t)^2} \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 5}$$

n : periode perencanaan

d. Non linier dengan cara eksponensial

Pertumbuhan penduduk secara terus menerus (*continuous*) setiap hari dengan angka pertumbuhan (*rate*) yang konstan. Pertumbuhan penduduk eksponensial (*exponential rate of growth*). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$P_n = P_o e^{rn} \text{ atau}$$

$$P_t = P_o e^{et} \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 6}$$

- P_n atau P_t : jumlah penduduk pada tahun n atau t
 P_0 : jumlah penduduk pada awal tahun
 r : angka pertumbuhan penduduk (%)
 n atau t : waktu proyeksi (tahun)
 e : bilangan pokok dari sistem logaritma natural yang besarnya sama dengan 2,7182818

Hasil proyeksi jumlah penduduk untuk beberapa tahun kedepan merefleksikan jumlah kebutuhan air domestik, karena kenaikan jumlah penduduk ekuivalen dengan kebutuhan air domestiknya. Faktor sosial, budaya dan ekonomi penduduk menentukan besarnya pemakaian air domestiknya. Umumnya masyarakat yang tinggal di daerah perkotaan kebutuhan air domestiknya lebih besar dibandingkan dengan penduduk yang tinggal di daerah perdesaan.

Untuk memproyeksikan kebutuhan air non domestik suatu kawasan, diperlukan beberapa pendekatan. Kebutuhan non domestik juga dipengaruhi oleh kondisi sosial, budaya dan ekonomi serta kebijakan pemerintah. Untuk memproyeksikan kebutuhan air penduduk di masa yang akan datang, dalam penelitian ini mengkombinasikan target pencapaian dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) Kota Bekasi, Rencana Strategis (Renstra) Kota Bekasi, Revisi Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Bekasi, kecenderungan yang ada dalam laporan Produk Domestik Bruto Daerah (PDRB) Tahunan Kota Bekasi dan informasi yang diperoleh dari data sekunder lainnya.

2.8 Indikator Berlanjutnya Kota Ditinjau dari Aspek Sumber Daya Air

Air adalah kebutuhan yang mendasar untuk mendukung kehidupan manusia, ekosistem dan pembangunan ekonomi, yaitu untuk kebutuhan domestik suatu wilayah, untuk produksi bahan pangan, perikanan, industri, pembangkit tenaga listrik, navigasi dan sarana rekreasi. Isu global tentang kesehatan, kemiskinan, perubahan iklim, penggundulan hutan, kekeringan dan perubahan lahan sangat berhubungan dengan management sumber daya air.

Berlanjutnya daya dukung air dalam waktu yang panjang perlu dipikirkan agar tidak terjadi bencana. Untuk mencapai berlanjutnya daya dukung air setidaknya memenuhi kriteria kuantitas, kualitas dan kontinuitas. *Commission on Sustainable Development* (2001), menetapkan indikator berlanjutnya daya dukung air di suatu wilayah sebagai berikut:

- a. Dari aspek kuantitas indikator untuk berlanjutnya daya dukung air adalah persentase pengambilan tahunan dari air tanah dan air permukaan.
Persentase pengambilan air tanah dan air permukaan merefleksikan perbandingan kebutuhan air dan tersedianya air pada suatu wilayah.
- b. Dari aspek kualitas, indikator untuk berlanjutnya daya dukung air adalah BOD pada badan air dan konsentrasi bakteri *E.coli* (*Faecal Coliform*) pada badan air.
Nilai BOD dan Bakteri *E.coli* merefleksikan kondisi sanitasi suatu ekosistem dan kesehatan manusia didalamnya.

Prioritas management sumber daya air menurut *Commission on Sustainable Development* (2001) adalah:

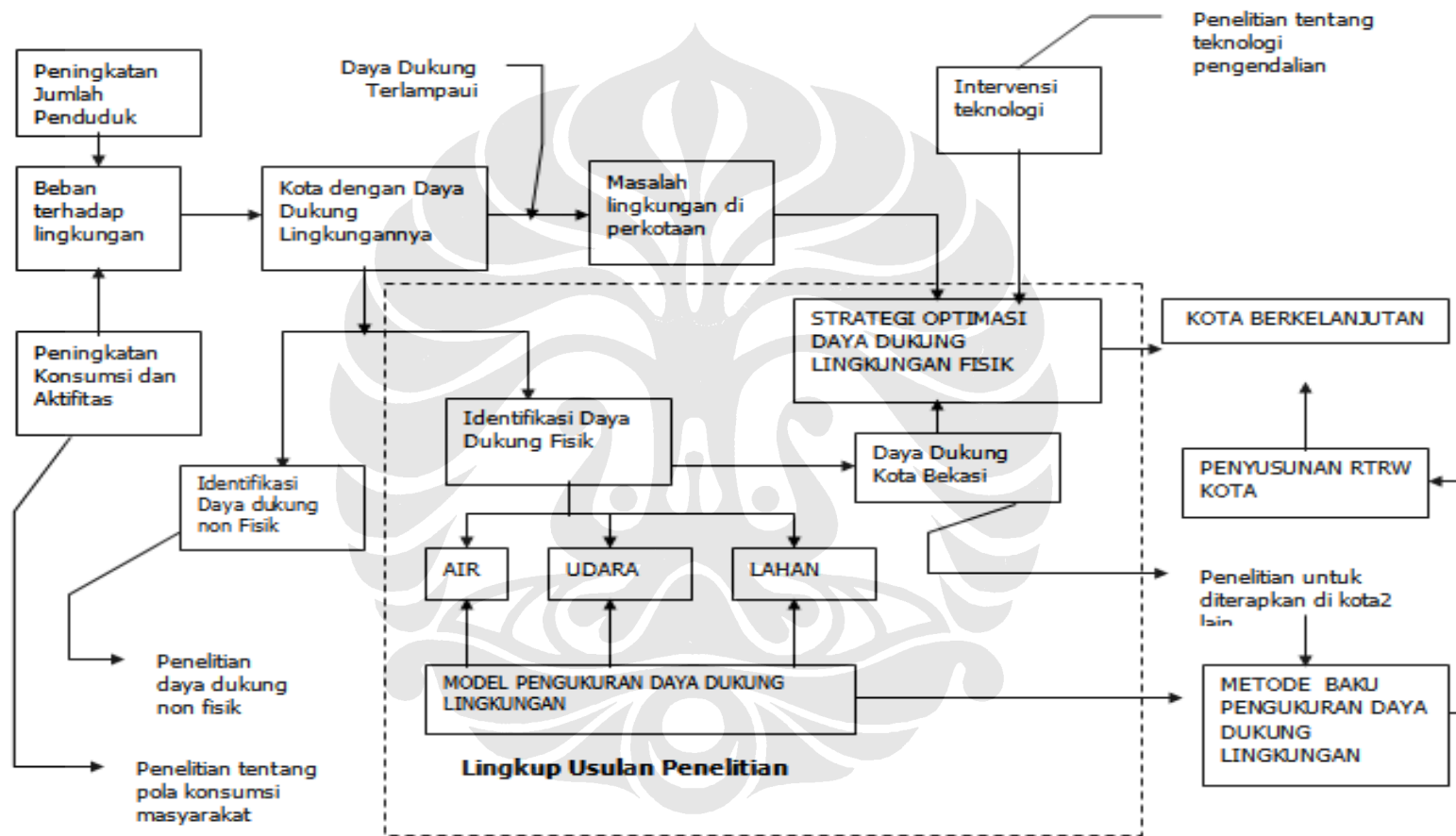
1. Kemudahan akses suplai air dan sanitasi untuk daerah perkotaan maupun perdesaan
2. Kecukupan air untuk berlanjutnya produksi pangan dan di daerah perdesaan
3. Penerpaan teknologi ramah lingkungan dan produksi bersih untuk industri
4. Efisiensi penggunaan air berdasarkan nilai ekonomis
5. Memperkuat peranan institusi untuk program management sumber daya air.

Menurut *The United Nations World Water Development* (2006), ketika penggunaan air melebihi kemampuan suplai lokal wilayah tersebut, sehingga masyarakat lokal tergantung pada infrastruktur dari luar untuk mendukung suplai lokal (misalnya melalui sistem perpipaan dan saluran-saluran air) atau masyarakat mengantungkan kebutuhannya pada air tanah, maka kondisi ini dikatakan tidak berlanjut (*unsustainable*).

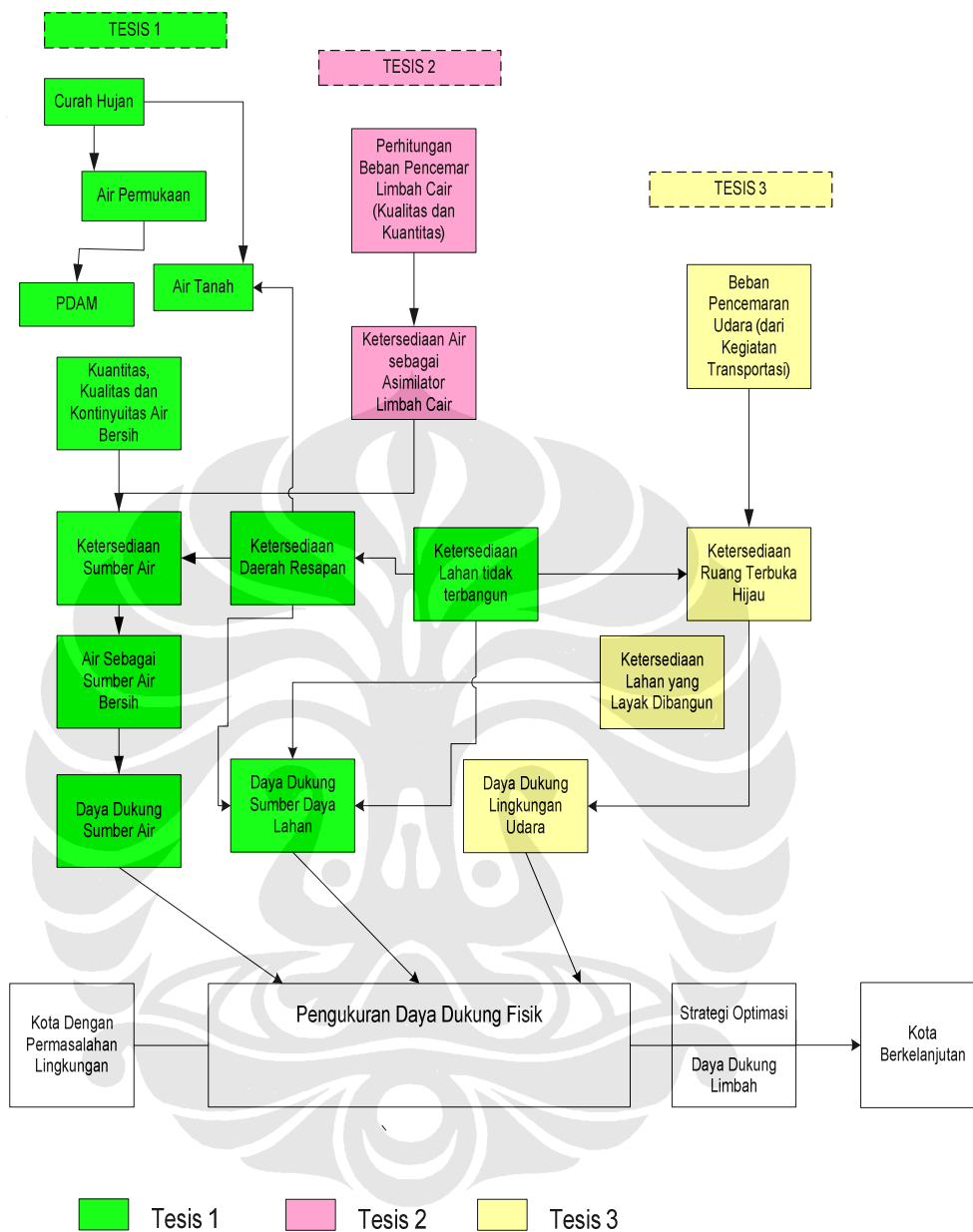
2.8 Kerangka Pikir Dalam Penelitian

Penelitian ini pada dasarnya adalah bagian dari disertasi yang terdiri atas lima tesis. Disertasi tersebut mengenai daya dukung sumber daya alam Kota Bekasi, yaitu optimalisasi daya dukung sumber daya lahan, daya dukung sumber daya air, daya dukung ruang terbuka hijau sebagai paru-paru kota, dan daya tampung sungai untuk menampung limbah, serta daya dukung Kota Bekasi dalam mengelola sampahnya.

Penghitungan daya dukung tersebut akan meninjau fungsi lingkungan sebagai penyedia (*supply*) sumber daya maupun sebagai penetralisir limbah (keseimbangan lingkungan). Oleh karena itu, sub penelitian tentang daya dukung air meliputi kualitas dan kuantitas dari sisi ketersediaan air bersih maupun dari sisi limbah cair yang ditimbulkan. Sub penelitian tentang daya dukung udara akan memfokuskan pada kualitas dan kuantitas cemaran gas yang ditimbulkan dan kemampuan lingkungan untuk menyerapnya. Sub penelitian tentang daya dukung lahan meliputi ketersediaan baik kualitas maupun kuantitas lahan bagi pengembangan kota maupun tanah sebagai media pembuangan limbah perkotaan. Secara skematik, road map riset dapat dilihat pada Gambar 9. Gambar 8 menunjukkan bagian-bagian dari penelitian (tesis) yang adalah bagian dari penelitian induk (disertasi) mengenai daya dukung Kota Bekasi. Posisi peneliti dalam tim ini adalah sebagai peneliti daya dukung air di Kota Bekasi dengan fokus tinjauan adalah aspek kualitas. Beberapa data olahan adalah data yang diolah bersama dalam tim sehingga data tersebut dapat dikategorikan sebagai data primer.



Gambar 9. Roadmap Penelitian Daya Dukung Kota Bekasi

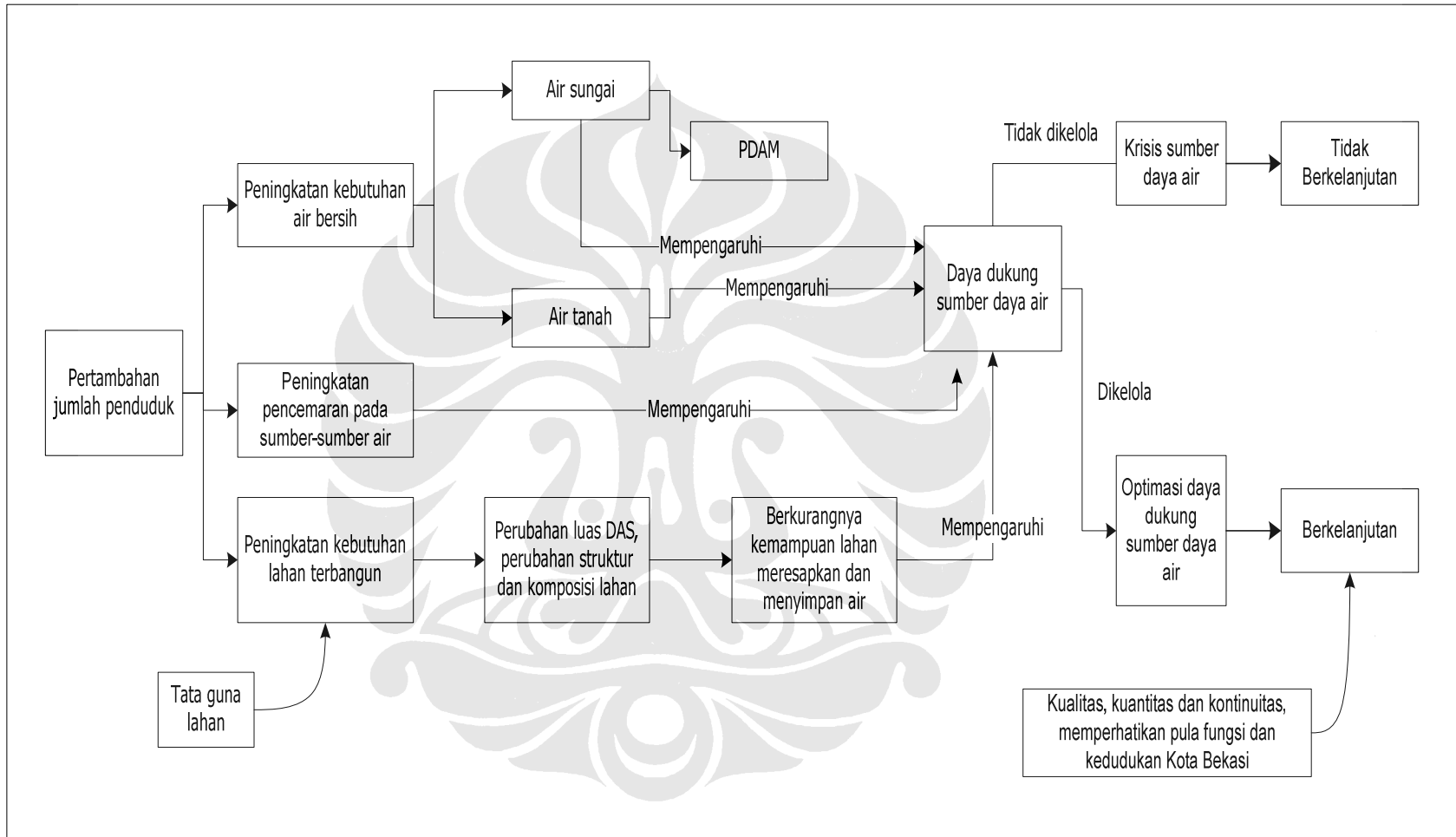


Gambar 10. Sistematika Penelitian Daya Dukung Kota Bekasi

Untuk penelitian mengenai daya dukung sumber daya air Kota Bekasi yang adalah salah satu bagian dari disertasi daya dukung lingkungan Kota Bekasi, kerangka konsep penelitian yang dikembangkan berdasarkan data sekunder yang tersedia dan pengembangan teori. Posisi peneliti dalam hal ini adalah sebagai peneliti tema Tesis 1.

Berdasarkan teori diperoleh hubungan antara penambahan jumlah penduduk dengan daya dukung sumber daya air. Pertambahan jumlah penduduk menyebabkan pertambahan kebutuhan air bersih, disamping itu juga kebutuhan akan lahan yang terbangun yang berimplikasi terhadap menurunnya kemampuan tanah untuk meresapkan air.

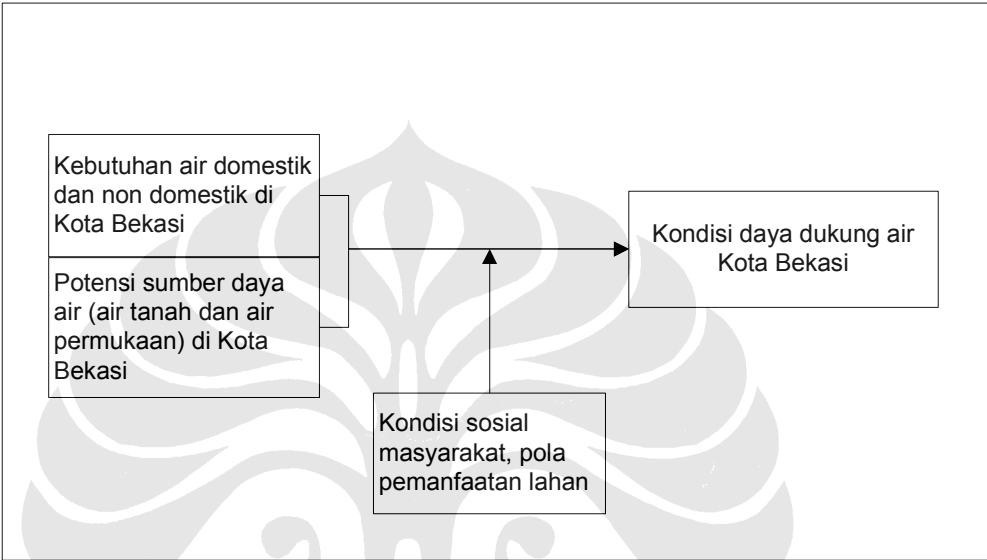
Fasilitas yang dibangun tersebut menyebabkan perubahan fungsi, struktur dan komposisi lahan yang dapat berdampak pada kemampuan lahan dalam meresapkan dan menyimpan air hujan. Perubahan tersebut berdampak pada daya dukung sumber daya air. Apabila kondisi seperti ini tidak dikelola, maka akan berakibat krisis sumber daya air dan Kota Bekasi menjadi tidak berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan langkah-langkah pengelolaan yang tepat agar pemanfaatan sumber daya air dan Kota Bekasi dapat berkelanjutan. Keberlanjutan dalam penelitian ini ditinjau dari kuantitas sumber daya air untuk dapat memenuhi kebutuhan air bersih penduduk, kualitas sumber daya air agar memenuhi standar baku mutu yang berlaku, dan kontinuitas sumber daya air untuk mensuplai kebutuhan air bersih penduduk sampai dengan tahun 2020. Ketiga aspek keberlanjutan tersebut disesuaikan pada fungsi dan kedudukan Kota Bekasi yang letaknya berbatasan langsung dengan Ibu Kota Jakarta.



Gambar 11. Kerangka Pikir Penelitian Daya Dukung Air di Kota Bekasi

2.9 Kerangka Konsep Penelitian

Kerangka konsep dalam penelitian ini adalah bagian yang menjelaskan hubungan antara variabel-variabel dalam penelitian. Dalam penelitian ini, hubungan antara variabel penelitian dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Kerangka Konsep Penelitian