

PENGARUH PERAMBATAN HUTAN TERHADAP ASPEK HIDROLOGI.

Oleh : Ir.M.Hasbi Arbi, MSi

Dosen Kopertis Wilayah I NAD-Sumatera Utara dpk Universitas Almusli

ABSTRACT.

The purpose Water Resourse Depelopment used for controller and useful of water, where water controle used for to cotroling float water and normal volume, but water can be used for domestic water. Industtri, irigation, water tranfortation and water strength for run up electric mechines. To use of water shuld be have more water with the volume of water is relative counstan and sustainable, it can be happened if the support factor suck us porest and river can be protected and continue, so water resource can be enough and controlled.

The forest is the best controle of rain water, until the rain water infilt into the ground can be more end runoff water is less, until porest can stop soil erosion. Illegal forest couse the land / soil criyical condision end barren of land, until runoff water can be biggest and infiltrasi will be less, finally ground water will be little, this couse at dry seasion river water will be less/dryness, until water river does not useful for sustainable. At wet seasion runoff water sweep away soil particle of soil erosion by rain to the rivers until the river base will be slope slightly, this be coused the rivers overflow, finally couse flood water , finally couse that soil pertility less, because the soil surfase erosion by rain water couse the porest bald and nonarable . this couse new plans can not grow again. This problem can be protected if local goverment implant forect and land conservation by reforestasion or planting new porest at the rigional place, finally misfortune ftoodwater and dryness can be preventatived.

I. PENDAHULUAN

Secara umum, tujuan pengembangan sumberdaya air dapat dibagi dalam 2 kelompok., yaitu kegiatan yang berhubungan dengan pengendalian air dan kegiatan yang berhubungan dengan pemanfaatan air. Kegiatan pengendalian air seperti pengendalian banjir dan pengendalian sedimen memerlukan debit banjir rencana sebagai nilai desain yang diperoleh berdasarkan kejadian eksrim dengan durasi singkat, seperti debit puncak selama banjir. Kegiatan pemanfaatan air seperti penyediaan air untuk dosmetik dan industri, irigagsi dan listrik tenaga air memerlukan debit andalan sebagai nilai desain yang diperoleh berdasarkan kejadian normal dengan durasi panjang, seperti debit aliran normal bulanan.

Sampai saat ini, kegiatan pengembangan sumberdaya air masih memandang sungai sebagai sumber air yang utama, baik terhadap pengendalian banjir yang diakibatkannya maupun terhadap pemanfaatan air yang dapat disediakannya. Bagi perencanaan pengembangan sumber daya air, informasi yang dibutuhkan adalah variasi debit aliran sungai dan sedimentasi serta factor-faktor yang mem-pengaruhinya, seperti respon hidrologi terhadap penggunaan hutan dan konversi hutan pada daerah aliran sungai {DAS}.

Pengetahuan tentang respon hidrologi ini diperlukan bagi perencanaan bangunan pengembangan sumber daya air agar kesalahan dalam menetapkan nilai perencanaan dapat dihindari.

Misalnya, penetapan debit banjir rencana dan debit andalan sebagai nilai desain dilakukan setelah mempertimbangkan master plan perencanaan pengelolaan DAS tentang penggunaan dan konversi hutan di masa mendatang. Dengan demikian diharapkan dapat dilakukan

justifikasi tentang tidak berfungsinya bangunan pengendali banjir atau bangunan penyediaan air disebabkan oleh kesalahan perencanaan teknik sipil atau kegagalan tersebut disebabkan oleh penyimpangan penggunaan dan konversi hutan pada DAS.

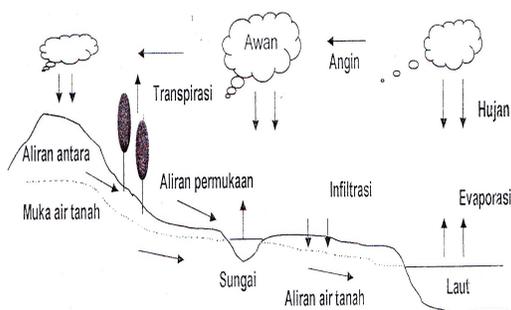
Memahami respon hidrologi terhadap pengguna dan konversi hutan ini memerlukan pemahaman tentang daur hidrologi dan ekosistem daerah aliran sungai terlebih dahulu.

Penjelasan tentang respon hidrologinya sendiri dijelaskan dalam respon hidrologi terhadap pembalakan hutan {forest logging}.

II. DAUR HIDROLOGI

Daur hidrologi menjelaskan siklus gerakan air di permukaan bumi.

Misalnya, air laut meuap ke atmosfer, kemudian jatuh dalam bentuk hujan ke permukaan tanah, kemudian mengalir kembali ke laut, dan kembali menguap ke atmosfer. Selama danau dan dalam tanah sehingga dapat dimanfaatkan oleh manusia dan makhluk lainnya. Siklus ini terus berlangsung tanpa henti seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1 di bawah ini:

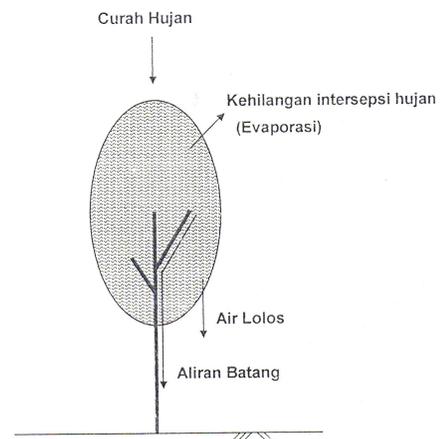


Gambar 2.1. Daur hidrologi

Pada daur hidrologi, energi panas matahari menyebabkan terjadinya

proses penguapan {evaporasi} air laut dan badan-badan air lainnya. Uap air ini kemudian terkondensasi menjadi butir-butir air yang berkumpul dalam awan. Butir-butir air ini ada yang langsung jatuh kembali ke laut menjadi hujan, ada juga yang terbawa oleh angin melintasi daratan dan kemudian turun menjadi hujan.

Sebelum mencapai permukaan tanah, air hujan akan tertahan oleh tajuk vegetasi. Air hujan yang tertahan ini, sebagian akan tersimpan di permukaan tajuk, sebagian lainnya akan jatuh ke atas permukaan tanah melalui sela-sela daun sebagai air lolos {throughfall} dan mengalir ke bawah melalui permukaan batang pohon sebagai aliran batang {stemflow}. Air hujan yang tertahan oleh tajuk dan kemudian menguap ke atmosfer disebut kehilangan intersepsi curah hujan {rainfall interception loss}. Jumlah air hujan yang menyentuh tajuk disebut dengan total curah hujan {gross rainfall}. Jumlah air hujan yang mencapai permukaan tanah disebut jumlah bersih curah hujan {netrainfall}, yaitu total curah hujan dikurangi dengan kehilangan intersepsi curah hujan atau air loloa ditambah dengan aliran batang. Proses air hujan menyentuh vegetasi ini diperlihatkan pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Keseimbangan air pada pohon

Air hujan yang dapat mencapai permukaan tanah, sebagian akan masuk terserap ke dalam tanah melalui proses infiltrasi {infiltration}. Air hujan yang tidak terserap ke dalam tanah akan tertampung sementara dalam cekungan-cekungan permukaan tanah {surface detention} dan kemudian mengalir di atas

permukaan menuju tempat yang lebih rendah sebagai aliran permukaan {surface runoff}. Air infiltrasi akan tertahan didalam tanah mengisi pori-pori tanah yang selanjutnya membentuk kelembaban tanah. Apabila tingkat kelembaban air tanah telah mencapai jenuh, maka sebagian air infiltrasi akan bergerak secara lateral {horizontal} sebagai aliran antara {subsurface flow} dan sebagian lainnya akan bergerak secara vertical ke dalam tanah hingga menjadi bagian dari air tanah {ground water}.

Aliran permukaan, aliran antara dan aliran air tanah akan mengalir ke sungai, danau, laut dan tempat penampungan air alamiah lainnya, yang kemudian air aliran ini akan menguap kembali ke atmosfer.

Air infiltrasi tidak semua berubah menjadi aliran atau menjadi bagian dari air tanah. Sebagian air infiltrasi ada yang tetap tinggal dalam lapisan tanah bagian atas {top soil}. Air infiltrasi ini kemudian sebagian menguap kembali ke atmosfer melalui permukaan tanah dengan proses evaporasi {evaporation} dan sebagian lainnya menguap kembali ke atmosfer melalui permukaan tajuk vegetasi dengan proses transpirasi {transpiration}.

Konsep daur hidrologi dapat diperluas dengan memasukkan gerakan perjalanan sedimen, unsur-unsur hara, dan biota yang terlarut dalam air, sehingga konsep hidrologi ini dapat digunakan sebagai konsep kerja untuk perencanaan pengelolaan DAS. Dalam bentuk bagan alir, daur hidrologi dapat ditunjukkan seperti Gambar 2.3. Bagan alir tersebut menunjukkan bahwa hujan sebagai input akan mencapai tanah dengan beberapa cara, yaitu air lolos {throughfall}, aliran batang {stemflow}, dan air hujan langsung, yang kemudian air yang mencapai tanah ini akan berubah menjadi air larian (runoff), air evaporasi dan air infiltrasi. Air evaporasi bersama-sama dengan air intersepsi dan air transpirasi kembali ke atmosfer sebagai air evapotranspirasi.

Sementara air larian dan yang infiltrasi yang berubah menjadi aliran antara dan aliran air tanah akan mengalir ke sungai, danau, laut dan tempat penampungan air alamiah lainnya sebagai aliran air (discharge).

III. EKOSISTEM DAERAH ALIRAN SUNGAI

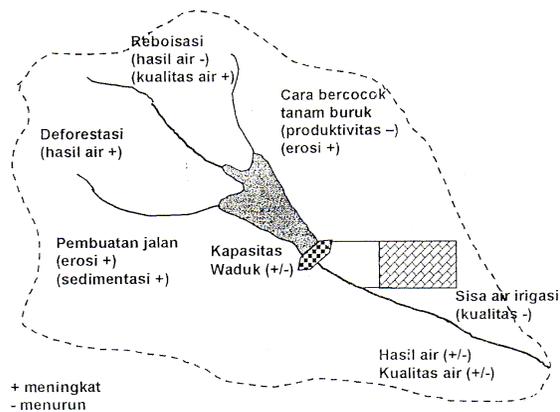
Ekosistem adalah suatu system ekologi yang terdiri atas komponen biotis dan abiotis yang saling berinteraksi membentuk suatu kesatuan yang teratur. Dalam suatu ekosistem tidak ada satu komponenpun yang berdiri sendiri, melainkan satu sama lain mempunyai saling keterkaitan langsung maupun tidak langsung. Aktivitas suatu komponen ekosistem selalu memberi pengaruh kepada komponen ekosistem lainnya. Misalnya, manusia sebagai salah satu komponen ekosistem yang penting dan dinamis, dalam menjalankan aktivitasnya sering mengakibatkan dampak pada salah satu komponen ekosistem lainnya sehingga mempengaruhi ekosistem secara keseluruhan. Selama hubungan timbal-balik antar komponen ekosistem dalam keadaan seimbang, selama itu pula ekosistem berada dalam keadaan stabil. Sebaliknya, bila hubungan timbal-balik antar komponen ekosistem mengalami gangguan, maka terjadilah gangguan ekosistem atau lingkungan.

Uraian di atas menunjukkan bahwa ekosistem harus dilihat secara holistik. Pendekatan holistik dilakukan dengan cara mengidentifikasi semua komponen yang terlibat serta interaksi antar komponen tersebut. Kemudian dalam mempelajari ekosistem DAS, daerah aliran sungai biasanya dibagi menjadi daerah hulu, tengah dan hilir. Daerah hulu DAS dicirikan: merupakan daerah konservasi, mempunyai kerapatan drainase lebih tinggi, merupakan daerah dengan kemiringan lereng lebih besar dari 15%, dan bukan merupakan daerah banjir. Sementara daerah hilir DAS dicirikan: merupakan daerah pemukiman, kerapatan drainase lebih kecil, merupakan daerah dengan kemiringan lebih kecil dari 8%, dan pada beberapa tempat

merupakan daerah dengan banjir (genangan). Daerah aliran sungai bagian tengah merupakan daerah transisi dari kedua keadaan DAS yang berbeda tersebut di atas.

Ekonomi DAS hulu merupakan bagian yang penting karena mempunyai fungsi perlindungan terhadap seluruh bagian dari DAS.

Perlindungan ini antara lain dari segi fungsi tata air. Oleh karena itu, perencanaan pengelolaan DAS hulu sering menjadi fokus perencanaan mengingat bahwa dalam suatu DAS, daerah hulu dan hilir mempunyai keterkaitan biofisik melalui daur hidrologi. Keterkaitan biofisik antara daerah hulu dan hilir suatu DAS dapat ditunjukkan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Hubungan biofisik antara daerah hulu dan hilir suatu DAS

Contoh tentang keterkaitan biofisik antara daerah hulu-hilir suatu DAS, yaitu seperti kegiatan reboisasi atau penanaman pohon dalam luasan tertentu, dapat menurunkan hasil air {water yield}. Hal ini disebabkan semakin banyak pohon maka semakin banyak pula air hujan yang akan menguap kembali ke atmosfer baik melalui proses rainfall interception loss maupun melalui proses transpirasi. Akan tetapi kegiatan reboisasi ini dapat meningkatkan kualitas air permukaan bebas dari sedimen. Sebaliknya aktivitas pembalakan hutan {forest logging} atau pengurangan luas hutan {deforestasi} yang dilakukan di daerah hulu DAS dalam luasan

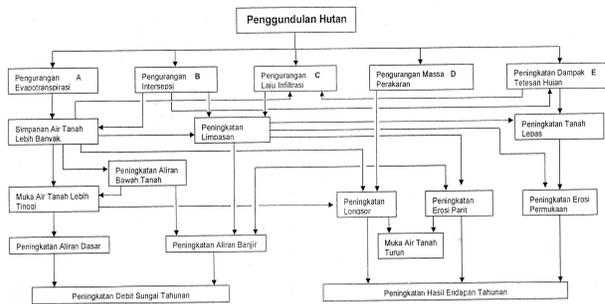
tertentu, juga dapat memberi dampak meningkat kan hasil air. Namun disisi lain kegiatan pembalakan hutan juga meningkatkan terjadinya erosi karena pembukaan permukaan tanah dan terutama karena aktivitas-aktivitas pendukungnya seperti pembuatan jalan. Kegiatan bercocok tanam yang mengabaikan kaedah-kaedah konservasi di daerah hulu juga akan meningkatkan erosi yang pada gilirannya akan menurunkan produk-sivitas lahan pertanian. Kegiatan-kegiatan pemanfaatan sumberdaya alam yang dilakukan di daerah hulu seperti tersebut di atas dapat menimbulkan dampak terhadap DAS bagian tengah dalam bentuk perubahan fluktuasi debit dan transport sedimen serta material terlarut dalam sistem aliran air, yang pada akhirnya dapat menurunkan kapasitas simpan waduk dan sungai. Kemudian dampak pada bagian tengah DAS ini pada akhirnya dapat menimbulkan dampak pula terhadap DAS bagian hilir berupa penurunan kualitas dan kualitas air irigasi dan air minum. Uraian ini menunjukkan bahwa secara biofisik daerah hulu dan hilir DAS mempunyai keterkaitan inilah yang kemudian dijadikan sebagai landasan bagi perencanaan pengelolaan dan evaluasi DAS.

IV. PENGARUH TERHADAP PEMBALAKAN HUTAN TERHADAP HIDROLOGI

Pembalakan hutan {forest logging} memungkinkan terjadi beberapa respon hidrologi pada suatu DAS seperti pada Gambar 4.1. mekanisme dan proses yang secara langsung dipengaruhi oleh pengambilan pohon ditunjukkan oleh kotak-kotak yang berada pada deretan paling atas, yaitu kotak A sampai E. perubahan yang mungkin terjadi akibat proses-proses tersebut diperlihatkan oleh panah yang menunjuk pada isi kotak-kotak di bawahnya.

Untuk selanjutnya pengaruh hidrologi terhadap pembalakan hutan (foeres logging) ini ditinjau terhadap kemungkinan terjadi perumahan air tanah, debit air sungai, erosi dan endapan di sungai, serta aliran unsur hara. Secara umum

dampak awal dan langsung dari pembalakan hutan adalah sebagai berikut (Megahan, 1982)



Gambar 4.1 Beberapa pengaruh hidrologi yang mungkin terjadi setelah pembalakan hutan. Untuk selanjutnya respon hidrologi terhadap pembalakan hutan {forest logging} ini ditinjau terhadap kemungkinan terjadi perubahan air tanah, debit air sungai, erosi dan endapan di sungai, dan aliran unsure hara. Secara umum dampak awal dan langsung dari pembalakan hutan adalah sebagai berikut {Megahan, 1982}:

1. Mengurangi perlindungan, yaitu termasuk tajuk pohon, tajuk tingkat bawah, dan seresah. Hal ini mengakibatkan tetesan air hujan dapat menyebabkan permukaan tanah menjadi gundul.
2. mengubah sifat-sifat tanah, meliputi pemadatan, lepasnya butir-butir tanah, dan kehilangan bahan organik. Hal ini mengakibatkan berkurangnya peresapan air, dan semakin mudahnya pengikisan tanah.
3. mengurangi transpirasi, meningkatkan gerakan udara, dan mengubah suhu. Hal ini mengubah evapotranspirasi, yang biasanya menjadi berkurang.
4. mengurangi massa perakaran. Hal ini mengakibatkan menurunnya daya rekat tanah.
5. kehilangan fungsi menangkap air dalam keadaan 'hutan kabut'. Hal ini mengurangi presipitasi di tempat.

4.1 Air Tanah

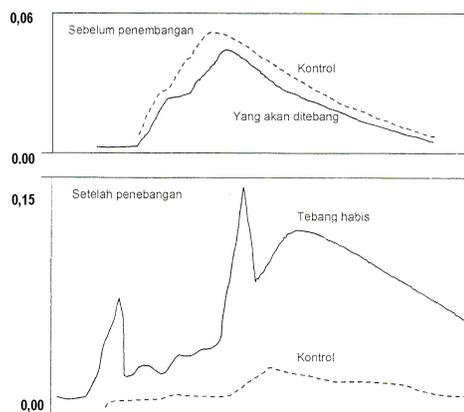
Penggunaan tajuk oleh penembangan pohon dapat mengakibatkan air evapotranspirasi dan intersepsi berkurang penggunaan ini dapat menaikkan kelembaban tanah yang tersimpan, dan dengan demikian dapat meningkatkan ketersediaan air untuk mengisi air tanah dan pada akhirnya muka air tanah menjadi lebih tinggi.

Gilmour {1977}, menunjukkan bahwa dalam hutan tropika basah terjadi kenaikan simpanan air tanah sebanyak kira-kira 10% setelah penebangan kayu. O' loughin {1981}, mengemukakan pengalamannya bahwa dengan menebang hutan di lahan rata pada dasar lembah di bagian yang basah di Selandia Baru, maka muka air tanah menjadi naik. Tinjauan Boughton {1970}, mengenai pengalangan di Australia dan tempat lain menunjukkan adanya kenaikan muka air tanah setelah hutannya tumbuh kembali. Namun para peneliti di atas sepakat bahwa pembangunan jalan dan pemadatan tanah oleh mesin-mesin berat pada penebangan pohon dengan mekanisasi dapat mengurangi peresapan air dan akhirnya air hujan tidak dapat mencapai air tanah. Pada kondisi seperti ini, air hujan lebih banyak berubah menjadi limpasan sehingga simpanan air tanah menjadi lebih sedikit dan pada akhirnya muka air tanah menjadi turun.

4.2 Debit Air Sungai

Banyak penelitian menunjukkan kenaikan halis air sebagai respon terhadap penebangan hutan, dan pada umumnya kenaikan tersebut sebanding dengan jumlah tajuk yang dihilangkan. Kenaikan hasil air ini berkurang setelah hutan penuh kembali pada tempat tersebut. Hibbert {1967} melaporkan hasil penelitian dari 55 DAS dan Bosch dan Hewlett {1982} melaporkan hasil penelitian dari 94 percobaan, menyimpulkan bahwa tidak ada penelitian pengurangan tajuk vegetasi, misalnya dengan penneangan pohon, yang dapat mengakibatkan penurunan hasil air. Selanjutnya mereka mengemukakan kesimpulan dari penelitian mereka sebagai berikut:

1. Tipe vegetasi berupa pohon jarum dan pohon kayu putih memberika kenaikan kira-kira 40 mm hasil air untuk setiap 10% pengurangan tajuk.
2. Pohon-pohon campuran memberikan kenaikan kira-kira 25 mm hasil air untuk setiap 10% pengurangan tajuk.



Gambar 4.2 Cuplikan hidrograf aliran akibat hujan selama 3 hari berturut-turut.

Untuk DAS yang ditebang habis dan DAS kontrol. Douglas {1981} menyatakan bahwa aliran mendadak meningkat dari 20% dalam tahun-tahun pertama setelah penebangan di coweeta, Amerika serikat, dan hutan yang tumbuh kembali mengurangi aliran mendadak tersebut. Hal serupa dilaporkan oleh Pearce dkk. {1980}, di Selandia Baru dimana dilakukan penebangan hutan sebanyak 75% mengakibatkan kenaikan debit terjadi hampir dalam semua bulan sepanjang tahun, dan 60% hasil yang meningkat tersebut muncul sebagai aliran mendadak dengan volume yang lebih besar. Di pegunungan Appalachian di Virginia Barat, Amerika serikat {Reinhart dkk., 1963} ,menjelaskan bahwa sebuah DAS yang ditebang habis dan diambil kayunya menimbulkan debit tinggi yang besarnya beberapa kali lebih besar daripada debit DAS control. Gambar 4.2 menunjukkan cuplikan hidrograf aliran akibat hujan selama 3 hari berturut-turut untuk DAS yang ditebang habis dan DAS control penelitian di coweeta ini menunjukkan bahwa penebangan

hutan akan mengakibatkan kenaikan yang lebih besar pada volume aliran mendadak, pada debit aliran puncak dan lama aliran.

4.3 Erosi dan Endapan Di sungai

Penelitian yang dilakukan oleh Mosley { 1988} di Selandia Baru menyimpulkan bahwa energi kinetic air hujan jatuh menetes dari tajuk hutan campuran kayu keras *Podocarpus* selalu lebih besar dari pada energi kinetic curah yang jatuh di tempat terbuka. Curah hujan 55 mm jatuh selama 36 jam yang menebus tajuk hutan memiliki energi kinetic 1,5 kali lebih besar, dan rata-rata jumlah pasir yang terpecik 3,1 kali lebih banyak bila dibandingkan dengan curah hujan yang sama di tempat terbuka. Soemarwoto {1982} juga menemukan erosi percikan yang lebih besar di bawah tajuk-tajuk pohon di Indonesia.

Walaupun demikian, hutan basah yang lapisan vegetasi secara vertical tidak terganggu, tumbuhan bawah terdiri atas semak yang sapat, tumbuhan memanjat, paku-pakuan, dan tumpukan seresah organik yang melapuk, memberikan perlindungan pertama terhadap dampak tetes hujan. Jaring-jaring yang luas terdiri atas batang-batang pohon, batang-batang kecil, dan akar, juga merupakan rintangan pengangkutan sedimen oleh aliran permukaan. Oleh karenanya, dampak yang ditimbulkan oleh penebangan kayu pada hutan jelas akan berpotensi untuk meningkatkan erosi. Cassel {1981} menyatakan bahwa berdasarkan pengalamannya di Queensland, menunjukkan adanya aliran limpasan yang cukup besar akibat penebangan hutan menyebabkan erosi sebai konse-kuensinya. Peh {1980} juga mengemukakan bahwa aliran limpasan penyebab terjadinya erosi adalah proses hidrologi yang nyata pada hutan basah di Malaysia.

Endapan yang berasal dari sungai-sungai yang mengalir melalui hutan tak terganggu sebagian besar merupakan endapan organik, berlawanan dengan endapan di sungai yang datang dari daerah yang ditebang sebagian besar merupakan endapan mineral. Salah satu cara yang lazim untuk melihat dampak pembalakan hutan terhadap erosi adalah dengan mengukur kandungan endapan di dalam

sungai. Beberapa penelitian menunjukkan adanya peningkatan endapan di sungai akibat penebangan kayu.

Hasil penelitian akibat kayu di DAS daerah tropika di Queensland Utara, Australia {Gilmour, 1977}, menunjukkan bahwa kenaikan muatan endapan tersuspensi dua sampai tiga kali lipat pada kondisi debit tinggi. Muatan endapan meningkat kira-kira 180 ppm sebelum penebangan kayu menjadi 320 ppm dalam tahun pertama dan kira-kira 520 ppm dalam tahun kedua setelah penebangan kayu.

Perbedaan antara kedua tahun tersebut disebabkan karena karakteristik curah hujan kedua tahun tersebut berbeda.

Untuk Indonesia, Kuswata {1981}, melaporkan bahwa meskipun tidak ada penelitian tentang pengaruh penebangan kayu terhadap muatan endapan di sungai, namun menyatakan bahwa muatan endapan sungai-sungai menjadi amat besar di daerah yang hutannya dihilangkan sehingga menjadi keprihatinan nasional.

Hamzah {1978} melakukan beberapa pengamatan mengenai akibat penebangan di kalimantan Timur dan melaporkan terjadi peningkatan kandungan Lumpur di sungai yang diukur pada daerah di dekat lokasi penebangan.

4.4 Aliran Unsur Hara

Pembalakan hutan mempengaruhi daur unsur hara dengan mengubah jumlah unsur yang tersimpan, dan memodifikasi susunan serta fungsi tanah dan sungai-sungai di dalam hutan. Perubahan iklim mikro akibat penebangan hutan juga akan mempengaruhi kegiatan biologi dan laju oksidasi.

Setiap pemisahan suatu partikel tanah yang kemudian mengalir bersama aliran permukaan menuju sungai akan membawa unsur hara yang melekat pada partikel tanah tersebut ke dalam sungai.

Likens dkk. {1970}, melakukan penelitian mengenai pengaruh pembalakan hutan terhadap aliran unsur hara dari sebuah DAS di hutan percobaan Hubbard Brook di Amerika Serikat bagian Barat laut. Pada penelitian tersebut, semua pohon dan semak-semak di dalam sebuah DAS seluas 15,6 ha ditebang, tetapi tidak diangkut keluar. Pertumbuhan kembali vegetasi dihambat selama dua tahun. Dari hasil pengamatan pada air sungai di DAS tersebut ternyata terjadi kenaikan yang besar terhadap konsentrasi semua ion utama. Konsentrasi nitrat dalam air sungai melebihi batas kesehatan yang dianjurkan untuk air minum. Kemasaman sungai berubah dari pH 5,1 menjadi pH 4,3.

Di Coweeta, Amerika Serikat, Swank dan Douglas {1977} melaporkan bahwa pada aliran sungai NO₃-N meningkat sampai selama 20 tahun akibat penebangan hutan dengan atau tanpa pengambilan hasilnya. Demikian juga di Taiwan dilaporkan bahwa rata-rata konsentrasi Ca, Mg, Na, dan NO₃-N yang terlarut dalam air sungai menjadi lebih tinggi setelah penebangan habis bila dibandingkan dengan air sungai yang hutannya diganggu {Lin, 1981}.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. Chow, V.T., David R. M., Larry W.M., 1988, Applied Hydrology, McGraw-Hill International Editions.
2. Hamilton, L.S., Peter N.K., 1983, Tropical Forested Watersheds, Westview Press, Colorado.
3. Adak, C., 1995, Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Gajah Mada University Press.