



2. SINTESA PERMASALAHAN KEJADIAN PENYAKIT DEMAM BERDARAH DENGUE, PERKEMBANGAN MODEL PREDIKSI DAN PEMANFAATANNYA (Tinjauan Pustaka)

2.1. Penyakit Demam Berdarah

Demam Berdarah merupakan penyakit yang disebabkan oleh virus Dengue telah lama menyebar, yaitu sejak abad ke 17. Pada awalnya virus Dengue hidup dalam siklus hutan hujan primer Afrika yang di dalamnya terdapat kehidupan primata dan vegetasi bertajuk rendah tempat hidup nyamuk dalam siklus primata - nyamuk - primata. Virus Dengue dapat menular di daerah urban di antara manusia dan domestikasi nyamuk *Aedes aegypti* (Soper *et al.*, 1944 dalam Gubler, 2004). Penyebaran penyakit secara geografis dalam abad ke 17 hingga awal abad ke 20 berhubungan dengan penyebaran secara global nyamuk *Aedes aegypti* dari Afrika ke wilayah Tropis lainnya yang terbawa serta dalam aktivitas industri pelayaran dan ekspansi perdagangan pada abad ke 17 dan 18. Nyamuk ini merupakan vektor epidemik yang sangat efisien disebabkan oleh adanya asosiasi nyamuk dengan kehidupan manusia di daerah urban, serta perilaku menggigit dan menghisap darah pada beberapa orang (*multiple feeding*) oleh satu nyamuk betina dewasa. Virus hidup dengan baik di pusat kota besar di tropis dalam siklus nyamuk – manusia – nyamuk (Gubler, 1997 dalam Gubler, 2004).

Perkembangan dramatis terjadi di Asia Tenggara selama Perang Dunia II. Epidemik Penyakit Demam Berdarah di Asia umumnya terjadi pada 50 tahun awal abad ke 20. Selama periode ini virus Dengue menjadi endemik di beberapa wilayah Asia. Epidemiologi penyakit DBD menjadi dramatik di Asia selama dan setelah Perang Dunia ke II. Masuknya ratusan ribu tentara sekutu dan Jepang ke dalam wilayah endemik Asia, berkombinasi dengan kepadatan penduduk dan menyebarnya nyamuk *Aedes aegypti* yang terbawa oleh material perang, menyebabkan kejadian epidemik di antara pasukan kedua angkatan perang dan kejadian hiperendemik di kota-kota di Asia disertai dengan meningkatnya penularan multi serotipe virus Dengue.

Penyakit ini terus berkembang, terutama di daerah tropika basah di mana keadaan iklim dan perilaku masyarakat menunjang untuk perkembangbiakan nyamuk (Gubler, 1997 dalam Gubler, 2004). Di Indonesia kasus penyakit DBD ditemukan di

Jakarta dan Surabaya pada tahun 1968, dan kasusnya meningkat hingga saat ini (Kusriastuti, 2006; Anonim, 2006)

Penyakit Demam berdarah adalah penyakit akut, bersifat musiman, dan seringkali menyebabkan kematian dalam waktu yang singkat dalam hitungan hari. Dengan relatif mudah penyakit ini ditularkan oleh berbagai nyamuk spesies *Aedes* jika keadaan iklim sesuai, dan ketahanan tubuh manusia lemah. Oleh karena itulah hingga saat ini penyakit tersebut menjadi penyakit yang ditakuti, dan pemberantasannya masih belum berhasil, bahkan jumlah penderitanya cenderung meningkat dari tahun ke tahun baik di Dunia maupun di Indonesia (WHO, 2000; Wawolumaya dan Irianto, 2004; Anonim, -).

Studi tentang penyakit DBD sudah banyak dilakukan baik dalam bidang medik yang berhubungan dengan perkembangan penyakit di dalam tubuh manusia, dalam hubungannya dengan virus pathogen, nyamuk sebagai vektor, maupun lingkungan yang berhubungan dengan iklim dan sosial-ekonomi-budaya yang menunjang. Penelitian mengenai penyakit DBD telah melibatkan banyak peneliti di bidang medik, biologi yang meliputi entomologi dan virologi, kimia dalam hubungannya dengan pemberantasan dengan pestisida, geografi termasuk ahli lingkungan fisik, dan ahli pemodelan. Pustaka mengenai keadaan medik, vektor dan patogen, maupun lingkungan yang berhubungan, relatif mudah didapatkan. Yang masih relatif jarang adalah informasi mengenai hubungan iklim dengan perkembangan virus dan ketahanan tubuh manusia.

Selain penelitian – penelitian yang bersifat parsial, penyusunan model prediksi juga sudah dilakukan antara lain Cinsim-Densim dan model-model lain (Fock, 1993. Fock, 1995; Sintorini, 2006; Sasmito *et al.*, 2006; Sukowati, 2004; Schreiber, 2001; Peterson *et al.*, 2005). Beberapa model telah memperhitungkan keadaan cuaca untuk menunda kejadian penyakit DBD, tetapi masih terdapat perbedaan antara bentuk informasi dan model yang tersedia dengan yang dibutuhkan oleh para pemangku kepentingan. Akibatnya hingga saat ini di Indonesia, model prediksi yang ada belum dimanfaatkan secara operasional untuk memprediksi angka kejadian penyakit DBD. Aplikasi yang kreatif dan terorganisir dari sumberdaya yang ada merupakan hal yang sangat diperlukan untuk membangun model dan mengontrol penyakit ini menghadapi perubahan iklim pada masa mendatang (Reiter, 2001).

Studi ini merupakan rangkuman dari hasil-hasil penelitian yang berhubungan dengan penyakit DBD yang telah ada. Tulisan yang dikaji dan dirangkum dalam

tulisan ini diutamakan yang relevan untuk membangun model prediksi berdasarkan informasi iklim dan dapat dipergunakan dalam penyusunan rekomendasi untuk mengantisipasi kejadian penyakit pada masa mendatang.

2.2. Epidemiologi Penyakit Demam (Berdarah) Dengue

2.2.1. Penyebab dan Penularan Penyakit Demam Berdarah

Penyakit Demam Berdarah Dengue atau sering disingkat DBD, merupakan penyakit infeksi oleh virus Dengue yang ditularkan oleh nyamuk vektor *Aedes*. Oleh karena itu virus Dengue diklasifikasikan ke dalam salah satu jenis arbovirus, yang merupakan kepanjangan dari *arthropod-borne viruses* (Agoes, 2005). Virus Dengue (DENV) termasuk famili Flaviviridae dengan 4 serotipe, yaitu DENV-1 hingga DENV-4 (Gubler, 1998 dalam Lindback *et al.*, 2003; Gubler, 2004).

Vektor utama penular penyakit DBD adalah nyamuk *Aedes aegypti* (Christopher, 1960) yang berkembangbiak di lingkungan permukiman di perkotaan. Vektor keduanya adalah *Aedes albopictus*, yang juga berkembang biak di lingkungan permukiman, tetapi banyak ditemukan di daerah semi urban (Sukowati, 2004). Pada awalnya *A. albopictus* mendominasi penularan penyakit DBD. Setelah periode tahun 1950 penyebaran virus Dengue terutama terjadi melalui *A. aegypti* menggantikan dominasi peran *A. albopictus* (Vazeille *et al.*, 2003). Rosen dan Freier (1987) mendapatkan 12 spesies *Aedes scutellaris* subgrup dalam percobaan transmisi virus dan mendapatkan 8 spesies di antaranya dapat menularkan virus Dengue secara vertikal, yang berarti ke 8 spesies tersebut dapat menularkan penyakit DBD baik secara normal atau dengan cara *transovarial*. Penularan secara normal adalah penularan virus setelah nyamuk menghisap darah penderita yang sedang *Viremia*, yakni keadaan dimana dalam darah penderita penyakit DBD sedang terkandung virus Dengue yang cukup banyak, sedangkan secara *transovarial*, virus ditularkan melalui telur nyamuk.

Nyamuk *Aedes aegypti* menjadi infeksiif jika di dalam tubuhnya telah membawa virus Dengue. Analisis serologi bersama-sama dengan studi gejala klinis, Gubler dalam Lindback *et al.* (2003) menyimpulkan bahwa manusia terinfeksi dengue melalui gigitan nyamuk *Aedes* yang telah terinfeksi. Nyamuk *Aedes* menggigit pada siang hari. Virus Dengue membutuhkan waktu untuk berkembangbiak dalam tubuh

nyamuk hingga jumlahnya cukup untuk dapat menginfeksi dengan waktu inkubasi berkisar antara 3 – 14 hari, dengan kejadian paling sering 4 – 7 hari.

Epidemiologi dan ekologi dengue menjadi kompleks karena terdapat empat serotipe virus, beberapa di antaranya dalam waktu bersamaan terdapat di wilayah endemik. Pada populasi lokal yang ada, tingkat imunitas terhadap keempat serotipe berbeda oleh pengaruh pertumbuhan populasi dan paparan populasi terhadap serotipe pada masa lampau (www.who.int/heli/risk/vectors/denguecontrol/en/). Infeksi oleh satu tipe virus menimbulkan imunitas, tetapi tidak menimbulkan imunitas protektif silang terhadap serotipe lainnya (Gubler, 1998 dalam Lindback *et al.*, 2003).

Suatu studi di Thailand selama periode endemik mendapatkan beberapa serotipe DENV secara simultan menginfeksi nyamuk DBD (Barbazan, 2002). Kejadian serupa juga didapatkan pada studi di Indonesia oleh Corwin *et al.*, (2001). Berdasarkan identifikasi serologi dengan kultur jaringan, inokulasi nyamuk contoh dan RT-PCR dari kasus penyakit di Rumah Sakit Charitas dan Rumah Sakit Umum M. Hoesni Palembang, didapatkan bahwa pada sampel ditemukan serotipe terbanyak adalah DENV-1, diikuti oleh DENV-3, DENV-2, kombinasi DENV-1 dan 3, DENV-4, dan kombinasi DENV 1-2, 1-4, dan 2-4.

Transmisi virus Dengue oleh nyamuk *Aedes* dimulai dengan adanya orang yang terinfeksi Dengue (Gambar 3). Orang ini akan membawa virus di dalam peredaran darahnya yang disebut dengan keadaan *veremia* paling lambat selama 5 hari. Selama periode *veremia* inilah, jika nyamuk *Aedes* betina yang belum terinfeksi menggigit orang dan menghisap darah yang mengandung virus Dengue tersebut akan terinfeksi virus Dengue dan selanjutnya akan menularkan virus Dengue penyebab penyakit DBD ke individu lain.

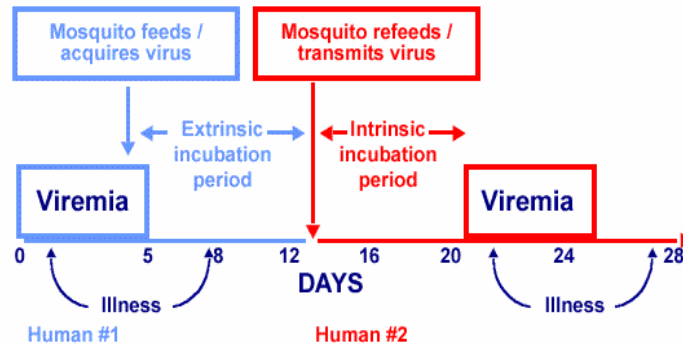
Kejadian yang sering adalah nyamuk terinfeksi karena menggigit orang yang sedang *veremia*. Akan tetapi banyak juga ditemui transmisi *transovarial*, keberadaan virus Dengue pada nyamuk *Aedes* karena terbawa telur nyamuk. Virus dapat diturunkan baik oleh nyamuk betina kepada keturunan F1 (Bosio *et al.*, 1992), maupun oleh nyamuk jantan melalui proses perkawinan, yang kemudian menularkan baik ke betina maupun pada telur yang dihasilkan (Khin dan Than, 1983; Rosen, 1987)

Tahapan berikutnya, nyamuk menggigit orang lain dan menularkan virusnya sepanjang masa hidup nyamuk tersebut. Virus kemudian bereplikasi pada orang-orang kedua dan seterusnya. Pada orang dengan ketahanan tubuh rendah, akan menunjukkan gejala penyakit DBD dengan periode rata-rata 7 hari setelah gigitan nyamuk. Periode

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

perkembangbiakan virus di dalam tubuh manusia disebut periode **inkubasi intrinsik**, lamanya berkisar antara 3 – 14 hari.

Veremia dimulai sesaat sebelum timbulnya gejala. Keadaan sakit yang disebabkan oleh infeksi dengue terjadi selama 3 – 10 hari, dengan rata-rata 5 hari, setelah dimulainya gejala. Keadaan sakit terjadi hingga beberapa hari setelah **veremia** berakhir (<http://www.cdc.gov/ncidod/dvbid/dengue/slideset/set1/i/slide04.htm>).



Gambar 3. Transmisi virus Dengue oleh *Aedes aegypti*, masa inkubasi dan viremia (<http://www.cdc.gov/ncidod/dvbid/dengue/slideset/set1/i/slide04.htm>)

2.2.2 Sejarah Dengue

Pada awalnya virus Dengue hidup dalam siklus hutan hujan primer Afrika yang di dalamnya terdapat kehidupan primata dan tumbuhan bertajuk rendah tempat hidup nyamuk dalam siklus primata - nyamuk - primata. Virus Dengue dapat menular di siklus urban di antara manusia, oleh domestikasi nyamuk *Aedes aegypti* (Soper *et al.*, 1944 dalam Gubler, 2004). Penyebaran penyakit secara geografis dalam abad ke 17 hingga awal abad ke 20 berhubungan dengan penyebaran secara global nyamuk *Aedes aegypti* dari Afrika ke wilayah Tropis lainnya yang terbawa serta dalam aktivitas industri pelayaran dan ekspansi perdagangan pada abad ke 17 dan 18. Nyamuk ini merupakan vektor epidemi yang sangat efisien disebabkan oleh adanya asosiasi dengan kehidupan manusia di daerah urban, dan perilaku menggigit dan menghisap darah beberapa orang (*multiple feeding*) oleh satu nyamuk betina dewasa. Virus hidup dengan baik di pusat kota besar di tropis dalam siklus nyamuk – manusia – nyamuk (Gubler, 2004).

Epidemi Penyakit Demam Berdarah di Asia umumnya terjadi pada awal 50 tahun abad ke 20. Selama periode ini virus Dengue menjadi endemik di beberapa wilayah Asia. Epidemiologi penyakit DBD menjadi dramatik di Asia selama dan

setelah Perang Dunia ke II. Masuknya ratusan ribu tentara sekutu dan Jepang ke dalam wilayah endemik Asia, berkombinasi dengan kepadatan penduduk dan menyebarnya nyamuk *Aedes aegypti* yang terbawa oleh material perang, menyebabkan kejadian epidemik di antara pasukan kedua angkatan perang dan kejadian hiperendemik di kota-kota di Asia kemudian disertai pula dengan meningkatnya penularan multi serotipe virus Dengue (Gubler, 2002). Di Indonesia kasus penyakit DBD ditemukan pada tahun 1968 di Surabaya dan Jakarta, dan kasusnya meningkat hingga saat ini (Kusriastuti, 2006; Anonim, 2006))

2.2.3 Bioekologi Nyamuk *Aedes aegypti*

Nyamuk *Aedes aegypti* betina bertelur setelah menghisap darah. *A. aegypti* meletakkan telurnya pada dinding di dekat permukaan air pada tempat tempat perindukan. Telur nyamuk ini dapat bertahan lama hingga berbulan bulan tanpa syarat kelentaban yang tinggi. Telur menetas menjadi larva instar I, yang akan diikuti dengan 3 kali pergantian kulit (*moulting*). Dengan demikian dijumpai larva instar I, larva instar II, larva instar III dan larva instar IV. Setelah fase larva, pergantian kulit kembali terjadi untuk berkembang menjadi pupa. Perubahan bentuk terakhir terjadi saat membentuk imago atau nyamuk dewasa. Bentuk telur nyamuk, larva, pupa, dan nyamuk dewasa dapat dilihat pada Gambar 4. Nyamuk dewasa betina sehari atau dua hari setelah keluar dari pupa akan kawin (kopulasi) dan menghisap darah untuk pembentukan telur (Christopher, 1960). Darah dibutuhkan untuk mengaktifkan folikel ovarium (Christopher, 1960; Reiter, 2001)



Gambar 4. Bentuk telur, larva, pupa dan nyamuk dewasa *Aedes aegypti*

Sumber : science.howstuffworks.com/mosquito2.htm

Untuk meletakkan telurnya nyamuk betina akan memilih tempat yang berwarna gelap dan terlindung dari radiasi matahari langsung. Dalam kondisi yang optimum peletakan telur terjadi selama 5 hingga 6 jam. Telur menetas 1 hingga 2 hari setelah kontak dengan air. Stadium larva berlangsung antara 6 hingga 9 hari, yang kemudian

dilanjutkan menjadi pupa selama 1 hingga 2 hari (Christopher, 1960). Dengan demikian waktu yang diperlukan dari telur hingga menjadi nyamuk berkisar antara 8 hingga 13 hari.

Setelah 1 atau 2 hari keluar dari pupa, nyamuk berkopulasi atau mengadakan perkawinan. Telur pertama dihasilkan 2 hingga 6 hari setelah menghisap darah. Sesudah bertelur, dengan rata-rata jumlah telur 100 butir, nyamuk akan menghisap darah kembali untuk pembentukan telur selanjutnya. Di laboratorium nyamuk *Aedes aegypti* dapat bertelur hingga 17 kali sampai dengan umur 25 hingga 56 hari dan mampu menghisap darah 17 hingga 40 kali (Christopher, 1960; Bahang, 1978).

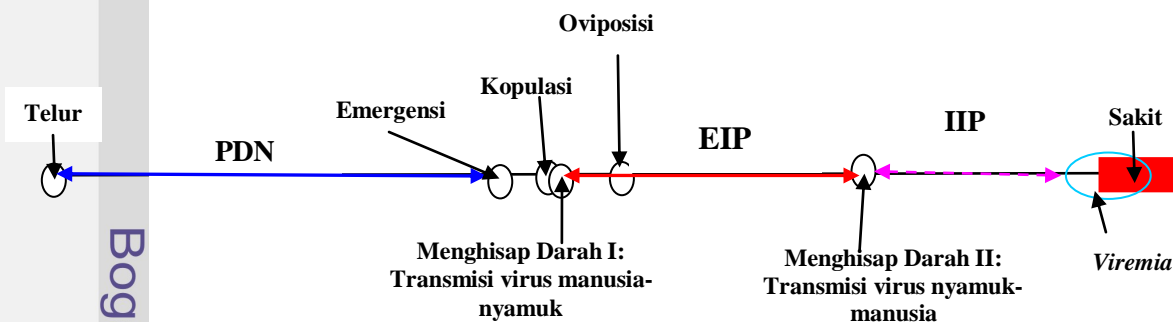
Keberlanjutan kehidupan nyamuk tergantung dari beberapa hal antara lain Christopher (1960) : (1) Tersedianya darah untuk dihisap; (2) Tersedianya air yang sesuai untuk kehidupan larva; dan (3) Suhu yang memungkinkan spesies tetap melanjutkan aktivitas untuk keberlangsungan hidupnya. Darah yang paling disukai dan dapat memperpanjang hidup nyamuk adalah darah manusia. Jadi siklus hidup nyamuk sangat tergantung pada kepadatan manusia dan iklim pada lingkungan hidupnya.

Nyamuk *Aedes aegypti* sebagai vektor utama penyakit DBD berkembangbiak di lingkungan permukiman di perkotaan pada penampung air buatan dengan air yang relatif jernih yang banyak ditemukan di dalam dan sekitar rumah. Para peneliti juga menemukan jentik *Aedes aegypti* di air yang berhubungan langsung dengan tanah, seperti sumur (Gionar *et al.*, 2001), pot bunga yang mengandung air, dan air yang mengandung bahan organik. Vektor keduanya adalah *Aedes albopictus*, yang juga berkembang biak di lingkungan pemukiman, banyak ditemukan di daerah semi urban, dan berkembangbiak di luar rumah (Sukowati, 2004). Walaupun dalam jumlah yang lebih sedikit, Nyamuk *Aedes albopictus* ditemukan baik di dalam maupun di luar rumah, berasosiasi dengan meningkatnya risiko penularan DBD. Nyamuk ini berkembangbiak dan menularkan penyakit di luar rumah (Ishak *et al.*, 1997 dalam Ali *et al.*, 2003; dan Yadaf, *et al.*, 1997 dalam Ali *et al.*, 2003) , terutama di daerah pedesaan dan semi urban (Chung dan Pang, 2002 dalam Ali *et al.*, 2003; dan Choochote *et al.*, 2001 dalam Ali *et al.*, 2003). Tempat perkembangbiakan adalah di lubang pohon, potongan bambu, juga di kaleng dan ban bekas, serta pot bunga (Hawley, 1988 dalam Ali *et al.*, 2003).

Jumlah populasi nyamuk tidak secara langsung menentukan jumlah kejadian Penyakit DBD. Nilai indeks yang menggambarkan jumlah populasi nyamuk, baik

nyamuk dewasa maupun larva tidak ditemukan berasosiasi dengan peningkatan kasus penyakit di Colombia. Indikator entomologi yang berhubungan dengan jumlah manusia terinfeksi virus hanya laju nyamuk terinfeksi virus Dengue. Laju infeksi virus pada nyamuk *Aedes aegypti* berbeda pada periode epidemi (10.68) dengan pasca epidemi (6.15) (Mendez *et al.*, 2006).

Berdasarkan kajian pustaka yang telah diuraikan di atas, kerangka waktu secara skematis dalam satu rangkaian kejadian dari telur nyamuk hingga menjadi nyamuk dewasa yang menularkan virus Dengue dan timbulnya gejala penyakit DBD dapat disimpulkan sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 5. Dalam 1 hingga 2 hari setelah kontak dengan air, telur akan menetas menjadi larva. Untuk menjadi nyamuk dewasa diperlukan waktu antara 8 hingga 13 hari. Setelah 1 atau 2 hari keluar dari pupa, nyamuk mengadakan perkawinan dan beberapa jam kemudian akan menghisap darah. Telur pertama dihasilkan 2 hingga 6 hari setelah menghisap darah. Inkubasi ekstrinsik virus di dalam tubuh nyamuk memerlukan waktu 8 hingga 12 hari. Setelah periode tersebut jika nyamuk menggigit manusia, virus akan ditularkan pada manusia yang digigit. Pada proses *multiple feeding* penularan dapat sekaligus dilakukan seekor nyamuk pada beberapa *host*. Di dalam tubuh penderita virus akan mengalami inkubasi intrinsik selama 3 hingga 14 hari. Setelah masa inkubasi intrinsik, penderita akan mengalami viremia, dan beberapa hari kemudian akan menunjukkan gejala penyakit DBD.



Gambar 5. Skema proses perkembangan nyamuk *Aedes aegypti* dan siklus tunggal penularan virus Dengue hingga timbul gejala sakit pada penderita DBD

Siklus penularan kedua terjadi tanpa melalui penetasan telur dan tahap pradewasa nyamuk. Proses penularan langsung dimulai dari proses kopulasi, sehingga jika ada *viremia*, nyamuk hanya memerlukan periode inkubasi ekstrinsik untuk menularkan virus Dengue. Jika genangan air tersedia maka proses lengkap dari telur

hingga akhir periode inkubasi ekstrinsik sebagaimana proses penularan seperti pada Gambar 5 akan terjadi secara berlapis.

2.2.4. Pengaruh Faktor Non Iklim pada Kejadian Penyakit DBD

Faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap transmisi penyakit yang ditularkan nyamuk terdiri dari lingkungan fisik, lingkungan biologi, lingkungan sosial ekonomi dan budaya, serta sistem pelayanan kesehatan. Lingkungan fisik antara lain adalah keadaan geografi termasuk keadaan iklim. Lingkungan biologi antara lain status kekebalan penduduk, jenis parasit, biologi vektor, adanya predator dan populasi hewan inang selain manusia. Lingkungan sosial budaya termasuk pengetahuan, sikap dan perilaku masyarakat dalam hubungannya dengan vektor (Sukowati, 2004).

Peubah non iklim penentu utama kejadian DBD adalah peubah politik, ekonomi dan aktivitas manusia (Reiter, 2001). Kejadian penyakit DBD dapat dipisahkan menjadi dua pola, yaitu pola siklik dan non siklik. Pola siklik musiman dipengaruhi oleh kejadian iklim / cuaca. Pola non siklik dipengaruhi oleh banyak hal antara lain kepadatan penduduk, keadaan sosial, ekonomi dan kondisi penutupan lahan.

Menurut Sommani *et al.*, 1995 dalam Barbazan *et al.*, 2002; pengaruh penting ekonomi dalam kejadian penyakit DBD berhubungan dengan kemampuan pasien untuk berobat dan aktivitas pemberantasan nyamuk vektor. Kemampuan ekonomi mempengaruhi tingkat kekebalan masyarakat terhadap serangan penyakit menular (Sukowati, 2004). Kejadian luar biasa atau *outbreak* dan epidemi penyakit tular vektor, seperti Demam Berdarah, sering terjadi pada masyarakat yang kurang mempunyai kekebalan karena pelayanan kesehatan yang kurang baik.

Masalah sosial ekonomi mengakibatkan terjadinya urbanisasi (terutama oleh penduduk kurang mampu yang kurang mendapat pelayanan kesehatan) lintas kota maupun lintas negara, sehingga mengakibatkan adanya penularan ke wilayah lain (www.who.int/heli/risk/vectors/denguecontrol/en/). Peluang penularan karena perjalanan ke lokasi yang terkena serangan DBD cukup besar. Transmisi juga dapat terjadi oleh aktifitas kunjungan ke wilayah endemik. Dari penelitian selama kurun waktu 2 tahun (1998 dan 1999) yang dilakukan oleh Lindback (2003) terhadap penduduk Swedia setelah pulang dari melancong, menunjukkan bahwa objek kajian yang tertular oleh penyakit DBD terjadi pada 107 orang dari 292 orang Swedia yang mengunjungi wilayah atau negara endemik DBD. Pola jumlah penderita bulanan

objek yang tertular di Thailand mengikuti pola jumlah penderita DBD di Thailand. Jumlah penderita (pelancong ke Thailand) meningkat pada saat kejadian di Thailand meningkat, dan sebaliknya jumlah penderita turun pada saat kejadian di Thailand menurun. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas traveling (perjalanan) juga merupakan peubah penyebab penularan penyakit DBD.

Penyebaran DBD secara geografis meluas pada dua dekade terakhir, penyebab utamanya adalah penyebaran vektor utama, *Aedes aegypti*. Kejadian DBD meningkat secara dramatik, dengan banyak pusat kota menjadi daerah endemik baru (Hay *et al.*, 2000). Berlanjutnya kecenderungan pertambahan penduduk, meningkatnya kepadatan penduduk di pusat kota, dan bertambahnya volume kunjungan internasional, berkombinasi dengan kontrol vektor yang kurang efektif, memberi peluang cepatnya evolusi virus (Hay *et al.*, 2000).

Dalam Kasus penyakit malaria yang juga ditularkan oleh nyamuk, studi yang dilakukan oleh Gallub dan Jeffrey (2001) mengenai hubungan antara malaria dengan beberapa peubah terkait dengan metode analisis regresi logistik, mendapatkan bahwa hal-hal yang berpengaruh nyata terhadap kasus penyakit malaria adalah GDP per kapita, angka harapan hidup, tingkat keterbukaan terhadap perdagangan, kualitas institusi publik, kepadatan penduduk dan inisiasi indeks malaria awal. Didapatkan pula bahwa dengan pemberantasan 10% kasus malaria dapat meningkatkan laju pertumbuhan ekonomi sebesar 0,3% lebih tinggi. Walaupun demikian Gallub dan Jeffrey (2001) menyimpulkan bahwa banyaknya kasus malaria di daerah miskin bukan disebabkan oleh kemiskinan itu sendiri, melainkan karena daerahnya merupakan daerah endemik.

Menurut Reiter (2001), peubah lain yang erat hubungannya dengan kegiatan manusia juga merupakan peubah penting dalam penularan. Penggalian / penambangan dan pembukaan areal vegetasi mengakibatkan terbentuknya cekungan-cekungan penampung air hujan. Aktivitas manusia juga menghasilkan tempat-tempat penampung air yang merupakan tempat perindukan *Aedes aegypti*. Aktivitas harian seperti kerja (sekolah), istirahat, dan rekreasi; lokasi di rumah dan disain rumah, merupakan peubah yang berpengaruh.

Dalam penyusunan model prediktif spasial – temporal penyakit DBD dengan aplikasi *ecological niche modelling*, Peterson *et al.* (2005) mendapatkan bahwa dimensi terpenting dalam pembuatan model prediktif bulanan adalah indeks vegetasi atau NDVI pada bulan yang sama dengan periode prediksi, diikuti oleh elevasi, NDVI

2 bulan sebelumnya, dan NDVI sebulan sebelumnya. Slope, indeks topografi dan aspek tidak berpengaruh nyata secara statistik dalam pemodelan.

2.2.5. *Kaitan antara Pengaruh Faktor Iklim pada Nyamuk dan Virus dalam kaitannya dengan Transmisi Penyakit DBD*

Dalam hubungannya dengan kejadian penyakit, iklim dikelompokkan menjadi iklim makro di suatu wilayah kajian secara global, dan iklim meso hingga mikro di sekitar wilayah atau tempat dimana penyakit berjangkit. Dalam kasus penyakit DBD iklim cuaca mikro adalah cuaca di dalam atau di sekitar perumahan, atau di bawah tegakan vegetasi; iklim meso adalah iklim di suatu wilayah di sekitar stasiun pengamatan iklim, dan iklim makro adalah iklim dalam skala wilayah yang sangat luas. Iklim makro dan meso berpengaruh pada penyebaran penyakit hingga wilayah yang keadaannya sesuai, yang berarti berpengaruh pada epidemi penyakit, sedangkan iklim meso hingga mikro berpengaruh pada perkembangan vektor maupun patogen penyakit di lokasi daerah endemik.

DBD termasuk salah satu penyakit yang disebabkan oleh infeksi virus (sebagai patogen) dan ditularkan oleh vektor (nyamuk *Aedes aegypti*). Curah hujan merupakan faktor penentu tersedianya tempat perindukan bagi nyamuk vektor. Hujan dengan intensitas yang cukup akan menimbulkan genangan air di tempat-tempat penampung air sekitar rumah maupun di cekungan-cekungan yang merupakan tempat telur nyamuk menetas hingga menjadi pupa sebelum menjadi nyamuk dewasa yang dapat terbang. Curah hujan yang besar menyebabkan genangan air ini melimpah sehingga larva atau pupa nyamuk tersebar ke tempat-tempat lain yang sesuai atau tidak sesuai untuk menyelesaikan siklus kejadian timbulnya atau menularnya penyakit.

Berbeda dengan nyamuk *Culex*, nyamuk *Aedes aegypti* lebih tahan terhadap terpaan intensitas hujan yang tinggi. Koenraadt dan Harrington (2008) menunjukkan bahwa pradewasa nyamuk *Aedes* akan bergerak menuju ke dasar wadah penampung jika terkena terpaan intensitas hujan yang tinggi maupun air hujan yang hangat, sedangkan pradewasa nyamuk *Culex* pada umumnya ikut melimpah bersama limpahan air. Oleh karena itu ledakan penyakit DBD di Indonesia mengikuti pola penerimaan curah hujan, yaitu terjadi antara awal hingga akhir musim hujan yakni pada bulan Nopember hingga Mei (Sasmito *et al.*, 2006; Sukowati, 2004; Corwin *et al.*, 2001).

Hasil penelitian di Yogyakarta oleh Gionar *et al.*, (2001) menunjukkan bahwa dari pengamatan semua penampung air di sekitar rumah yang menjadi sampel, pada

musim kemarau didapatkan 40 dari 304 penampung air mengandung *Aedes aegypti* pra dewasa (Indeks kontainer = 13,2%). Pada musim hujan penampung air yang mengandung *Aedes aegypti* meningkat menjadi 17,4%. Larva nyamuk tidak hanya didapatkan pada penampung air buatan, juga pada sumur yang mempunyai kedalaman 15 meter dan ditutup tetapi masih terdapat celah untuk masuknya nyamuk.

Suhu menentukan kecepatan tumbuh kembang nyamuk, yaitu daya tahan nyamuk dewasa, lamanya siklus gonotropik, periode inkubasi ekstrinsik dan ukuran vector yang mempengaruhi laju menggigit (Chan *et al.*, 1999); serta kecepatan replikasi virus (Sehgal, 1997). Kenaikan suhu meningkatkan proporsi nyamuk untuk menginfeksi, ukuran nyamuk lebih kecil menyebabkan nyamuk tersebut dapat terbang lebih jauh dan siklus gonotropik lebih cepat, sehingga dalam periode hidupnya lebih sering bertelur, serta periode inkubasi ekstrinsik menjadi lebih pendek sehingga peluang virus menyelesaikan inkubasi ekstrinsik di dalam tubuh nyamuk lebih besar. Pada virus Dengue tipe 2, periode inkubasi ekstrinsik pada suhu 30⁰C memerlukan waktu 12 hari, sedangkan pada suhu 32 – 35 ⁰C memerlukan waktu 7 hari, sehingga daya transmisinya menjadi 3 kali lipat (Chadee, 2006; Sehgal, 1997). Hasil simulasi Fock (1993) mendapatkan panjang periode ekstinsik dan siklus gonotropik (Tabel 1).

Tabel 1. Panjang periode dan laju harian inkubasi ekstrinsik virus Dengue di dalam tubuh *Ae. aegypti* dan siklus perkembangan gonotropik (Focks, 1993)

Temperatur	Periode inkubasi ekstrinsik		Siklus Gonotropik	
	Laju hari ⁻¹	Hari	Laju hari ⁻¹	Hari
22	0,04	24,0	0,14	7,3
24	0,05	20,0	0,17	6,1
26	0,07	14,0	0,24	4,2
28	0,08	11,8	0,29	3,5
30	0,10	9,9	0,34	2,9
32	0,12	8,4	0,41	2,4

Pengamatan di laboratorium pada suhu 21⁰C, 27⁰C, dan 33⁰C (Hasan, 1995), mendapatkan bahwa pada selang suhu tersebut hampir seluruh nyamuk aktif menghisap darah dan dengan bertambahnya suhu jangka hidup berkurang sehingga frekuensi bertelur juga berkurang, tetapi jumlah telur total mencapai maksimum pada suhu 27⁰C.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Tabel 2. Hasil Pengamatan Persentase nyamuk *Aedes aegypti* menghisap darah, jangka hidup rata-rata dan maksimum, frekuensi bertelur dan jumlah telur, di Laboratorium pada suhu konstan (Hasan, 1995)

Suhu (⁰ C)	% hisap darah	JH (R)	JH (M)	F Ovip	Jml telur
21	98,7	47	100	24	13.391
27	99,0	42	67	15	22.347
33	98,6	15	37	7	8.942

Keterangan gambar:

- % hisap darah : persentase nyamuk yang menghisap darah
- JH(R) : jangka hidup rata-rata (hari)
- JH(M) : jangka hidup maksimum (hari)
- F Ovip : frekuensi bertelur
- Jml Telur : jumlah total telur yang teramati

Hasil dari beberapa peneliti yang dirangkum oleh Christopher (1960) memperlihatkan bahwa panjang periode setiap tahapan kehidupan nyamuk, sebagaimana halnya virus, juga dipengaruhi oleh suhu, kelembaban udara, dan lama periode dewasa juga dipengaruhi oleh jenis makanan yang dimakan oleh nyamuk. Tanpa makan nyamuk dapat hidup lebih dari 7 hari, dengan makanan air gula, susu manis, pisang dan darah masing-masing dapat hidup lebih dari 20, 19, 68 dan 93 hari. Waktu yang dibutuhkan telur nyamuk untuk menjadi nyamuk dewasa pada suhu 16⁰C hingga 22⁰C adalah 22 hari, pada suhu konstan 19⁰C waktu yang dibutuhkan menjadi 22,5 hari. Pada suhu yang berubah-ubah antara 22 – 27⁰C, waktu yang dibutuhkan hanya 13 hari, dan pada pada suhu konstan 24⁰C memerlukan waktu 14,5 hari.

Tabel 3. Panjang periode setiap tahapan kehidupan nyamuk *Aedes aegypti* pada berbagai suhu (Sumber : Beberapa peneliti dalam Christopher, 1960 dan Focks *et al.*, 2000)

Suhu	Panjang periode fase (Hari)			
	Penetasan	Larva	Pupa	Dewasa*
27 – 29	2 – 3	6,4	1,79	-
25 – 26	4 – 5	-	-	-
21 – 24	100 jam	-	-	-
28	3	6,8	2	8 - 10
25	4	7	3,03	6 – 12
23	5	9	-	-
18	12	-	-	-
17	terhambat	-	-	-

*tanpa makanan, pada kelembaban relatif 70%

Catatan : - : tidak ada informasi. Suhu dasar 10 hingga 17 ⁰C

Akibat yang ditimbulkan oleh meningkatnya suhu sampai dalam batas tertentu adalah meningkatkan risiko transmisi dengue. Transmisi terjadi jika lama hidup nyamuk lebih panjang dari waktu perkembangan virus patogen (Reiter, 2001). Di Indonesia, kasus DBD meningkat jika suhu rata-rata 26,0 – 28,5 °C ; jumlah kasus maksimum terjadi pada suhu 27,8 °C; dan pada suhu udara lebih dari 28,5 °C kasus akan berkurang (Sukowati, 2004).

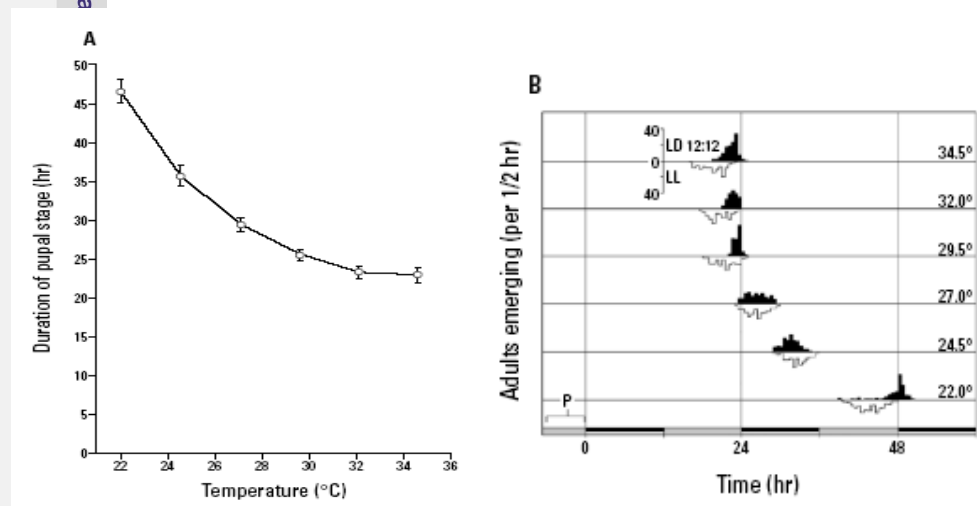
Hasil penelitian di Semarang oleh Boesri *et al.* (2000) pada bulan Juni 1997 hingga Pebruari 1998, mendapatkan bahwa di Srandol Wetan (< 300 mdpl) umur nyamuk maksimum 10 hari, sebagian besar umur nyamuk mencapai 8 hari. Disimpulkan bahwa waktu 10 hari cukup bagi virus untuk dapat memperbanyak diri dalam tubuh nyamuk, sehingga nyamuk menjadi infeksi. Akibatnya daerah Srandol Wetan merupakan daerah endemik DBD. Di Pudak Payung (300 mdpl) dan Kalibening (600 mdpl) umur nyamuk tidak mencapai 8 hari, sehingga tidak ada penularan penyakit DBD dan daerahnya bukan merupakan daerah endemik.

Kelembaban udara menentukan daya hidup nyamuk, yaitu menentukan daya tahan *trachea* yang merupakan alat pernafasan nyamuk. Di Indonesia kasus penyakit DBD tertinggi terjadi pada RH 82% (Sukowati, 2004). Penentu kejadian DBD adalah keadaan kelembaban pada periode 2 minggu sebelumnya (Hales, 2002), atau tingkat surplus dari perhitungan neraca air harian dengan lag 3 minggu sebelumnya (Schreiber, 2001)

Peubah iklim berpengaruh pada ekologi, perkembangan, dan kemampuan hidup nyamuk dan dinamika penularan penyakit. Unsur-unsur iklim utama yang berpengaruh adalah suhu, curah hujan, dan kelembaban udara. Unsur sekunder yang berpengaruh adalah angin dan penyinaran surya. Peubah yang sama juga memainkan peranan penting pada ketahanan hidup dan laju transmisi nyamuk infeksi. Suhu berpengaruh pada laju multiplikasi patogen yang berakibat pada laju sekresi saliva nyamuk menjadi dapat menginfeksi. Jika waktu perkembangan patogen melebihi lamanya waktu hidup serangga, transmisi tidak terjadi. Pengaruh kompleks inilah yang menyebabkan sulitnya menentukan pengaruh iklim pada prevalensi lokal penyakit-penyakit yang diakibatkan oleh vector (Reiter, 2001).

Reiter (2001) merangkum berbagai pustaka / hasil penelitian penyakit tular nyamuk, mendapatkan bahwa nyamuk memanfaatkan keadaan iklim mikro dari lokasi dan waktu dengan berbagai strategi. Sebagai contoh, *Anopheles gambiae*, pupa berkembang menjadi nyamuk dewasa di air pada saat matahari terbenam pada petang

hari. Pada penyinaran yang konstan, panjang periode pupa merupakan fungsi dari suhu, 2 hari pada 22°C tetapi hanya 1 hari pada 32°C. Pada panjang hari 12 jam, waktunya berubah (Gambar 5) untuk meminimalkan perubahan menjadi nyamuk pada siang hari. Serupa dengan ritme *circadian*, perilaku lain seperti aktivitas makan, istirahat, dan bertelur dilakukan pada waktu yang optimum sesuai dengan suhu lingkungan. Oleh karena kemampuan adaptasi terhadap lingkungan cukup besar, maka sebaran nyamuk sangat luas. Di Sudan *Anopheles gambiae* dapat dijumpai suhu udara luar lebih dari 55°C, di Mempis *Aedes aegypti* dijumpai dalam kantong yang terlindung dari udara dingin pada saat suhu kurang dari 0°C.



Gambar 6. Pengaruh pencahayaan terhadap lamanya waktu untuk perubahan dari tahap pupa ke tahap nyamuk dewasa *Anopheles gambiae* pada suhu yang berbeda di laboratorium.

- A. Lama periode pupa (Mean + SD) pada penyinaran konstan (LL);
- B. Waktu kejadian perubahan tahap pupa –nyamuk dewasa pada keadaan LL dan pada keadaan hari dengan 12 jam terang, dan 12 jam gelap (LD 12:12). Pada regim LL (histogram terbuka, ke arah bawah) perubahan terjadi segera setelah metamorfosis sempurna. Pada regim LD 12:12 histogram penuh, ke arah atas) perubahan tertunda hingga mendekati periode gelap. P menggambarkan periode 6 jam pada saat pupa dikumpulkan dalam penampung berpenghitung waktu. Di Laboratorium, tahap pembentukan pupa (pupation) terjadi 3 – 4 jam sebelum fase gelap. Di lapangan, tahapan pupa dan perubahan pupa menjadi nyamuk tertunda hingga matahari terbit atau beberapa saat sebelumnya. Perubahan fisiologis ini merupakan pengaruh dari suhu (Sumber : Reiter dan Jones, 1975 dalam Reiter, 2001).

Dari studi pustaka didapatkan bahwa hampir seluruh unsur iklim berpengaruh terhadap virus dan nyamuk penular penyakit DBD. Akan tetapi unsur iklim yang dominan pengaruhnya atau banyak dipelajari hubungannya dengan penularan Dengue

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Himpunan

Bogor Agricultural University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

adalah unsur lengas (curah hujan dan atau unsur neraca air) dan suhu. Unsur lengas berpengaruh pada tersedianya tempat untuk perindukan, dan unsur suhu pada kehidupan nyamuk dewasa.

2.2.5.1. Teori Satuan Panas

Derajat hari (*degree days*), sering juga disebut sebagai satuan/indeks panas (*heat unit/index*) menghubungkan perkembangan tanaman, serangga dan organisme penyakit dengan suhu udara lingkungan. Derajat Hari (DH) dihitung dengan cara mengurangkan suhu dasar dari suhu rata-rata harian, DH dianggap sama dengan nol jika suhu rata-rata harian lebih rendah dari suhu dasar. Penjumlahan DH dalam satu periode berhubungan dengan tahap perkembangan tanaman, serangga dan organisme penyakit. Di bawah suhu referensi (suhu dasar) perkembangan akan berkurang atau berhenti (*American Meteorological Society*, 2006).

Suhu dasar tergantung dari spesies. Sebagai contoh, tanaman – tanaman musim dingin mempunyai suhu dasar 5⁰C, tanaman-tanaman musim hangat seperti jagung mani kacang hijau dan lainnya mempunyai suhu dasar 10⁰C, dan tanaman-tanaman musim panas seperti kapas, okra, dan lainnya mempunyai suhu dasar 15⁰C (*American Meteorological Society*, 2006). Dari berbagai pustaka didapatkan suhu dasar nyamuk adalah antara 15 – 17 ⁰C (Christopher, 1960)

Asumsi dari DH adalah: beragam organisme sejenis membutuhkan sejumlah suhu yang sama besar dari penjumlahan suhu rata-rata harian, pada satu tahapan fenologi (tanam) ke tahapan lain, sebagai contoh dari tanam hingga masak, tergantung dari distribusi suhu. Umumnya hanya kontribusi positif di atas suhu batas dari DH yang diperhitungkan (WMO, 1981).

$$\sum_P^M |T_m - a| = k, \quad (T_m - a) = 0 \text{ jika } T_m < a$$

T_m adalah suhu udara, a adalah suhu dasar, P: waktu tanam, M : waktu masak, dan k adalah konstanta. Untuk nyamuk, P dapat diterapkan sebagai waktu / saat telur mulai mendapatkan media air, dan M atalah tahap perkembangan yang dikehendaki. DH untuk setiap perkembangan relatif tetap pada beragam suhu.

Persamaan yang hampir serupa dengan DH khusus untuk nyamuk adalah Persamaan Blunk dan Persamaan Janisch (Blunk, 1923 dan Janish, 1925 *dalam* Christopher , 1960).

Persamaan Blunk (1923)

$$t(v-c) = k,$$

t adalah waktu perkembangan (sama dengan periode antara P hingga M), v adalah suhu (sama dengan T_m), c adalah suhu kritis (suhu dasar = a) pada tahapan perkembangan kasus, dan k adalah termal konstan (sama dengan DH). Menurut Bodenheimer dalam Christopher (1960), temperatur optimum untuk *Aedes aegypti* adalah 27°C , dengan suhu dasar 17°C .

Persamaan Janish (1925)

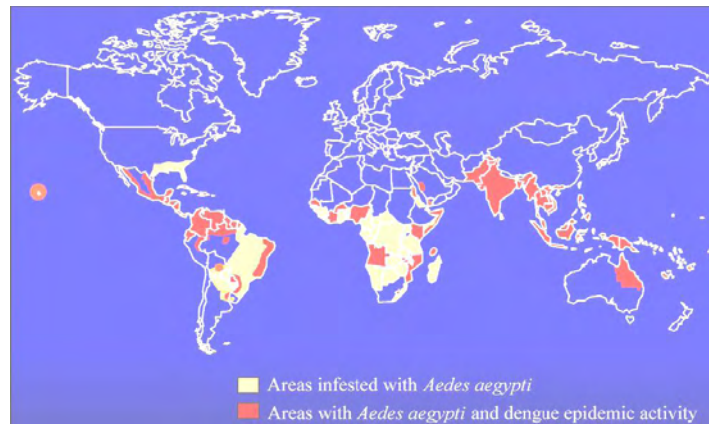
$$t = m/2(a^T + a^{-T}),$$

t adalah waktu perkembangan, m waktu untuk perkembangan pada suhu optimum, a adalah bilangan tetap, T dan $-T$ adalah limit dalam derajat di atas dan di bawah suhu optimum.

2.3. Tingkat Kesesuaian Wilayah

Tidak seluruh wilayah penyebaran nyamuk *Aedes aegypti* merupakan daerah endemik virus Dengue (Gambar 7). Indonesia termasuk dalam wilayah penyebaran nyamuk *Aedes aegypti* sekaligus wilayah endemik Demam Berdarah Dengue, yang disebabkan oleh kombinasi keempat serotipe virus Dengue (Gubler, 2004). Adanya infeksi dari keempat serotipe virus tersebut, menyebabkan kejadian penyakit DBD selalu terjadi di Indonesia karena imunitas terhadap satu tipe virus tidak menimbulkan imunitas pada tipe virus yang lain. Departemen Kesehatan RI menggolongkan sebagian wilayah Indonesia sebagai daerah hiperendemik dengan angka kejadian > 100 penderita / 100.000 penduduk. Walaupun demikian angka kejadian penyakit DBD tidak sama antar daerah.

Depkes RI belum mempunyai batasan tingkat endemik ataupun tingkat kesesuaian wilayah untuk penyakit DBD. Menurut hasil komunikasi pribadi dengan Ka Sub Dit Arbovirologi Depkes, yang telah diterapkan di kalangan Depkes adalah batasan daerah endemik, sporadis dan potensial, yang hanya dibatasi dengan waktu kejadian selama 3 tahun berturut-turut.



Gambar 7. Distribusi geografis nyamuk *Aedes* dan penyakit Demam Berdarah di Dunia (Sumber : Gubler, 2004)

Boer *et al.*, (1999) dan Boer (2001) telah menyusun tingkat kesesuaian/sensitivitas atau tingkat kerentanan wilayah terhadap banjir dan kekeringan dan Analisis Risiko Iklim untuk produksi dan pengembangan kedelai. Tingkat kesesuaian/kerentanan disusun berdasarkan indeks yang disusun dari luasan wilayah yang tersejang kejadian iklim tingkat berat, sedang dan ringan dengan analisis peluang ganda. Dengan analisis tersebut, didapatkan suatu model yang baik untuk prediksi hasil pertanian oleh iklim ekstrim, maupun prediksi berdasarkan skenario perubahan iklim. Analogi dari metode tersebut kemungkinan dapat diterapkan pada analisis kerawanan iklim untuk kejadian penyakit DBD.

2.4. Model Prediksi

Model adalah suatu bentuk penyederhanaan dari suatu mekanisme, berbagai komponennya berinteraksi membentuk suatu fungsi. Model stokastik disebut juga dengan model empirik, model statistik atau model kotak hitam, yaitu model yang tidak menjelaskan proses-proses dalam sistem, kecuali hanya dengan menyatakan hubungan antara peubah masukan dan keluaran. Model deterministik atau model mekanistik menjelaskan mekanisme proses dalam sistem, walaupun masih mengandung bagian yang bersifat empiris. Di dunia ini tidak ada model mekanistik murni (Handoko, 2005).

Model prediksi angka kejadian penyakit DBD dapat dibangun berdasarkan pemodelan Deterministik maupun Stokastik atau Statistik. Masing-masing model mempunyai kelebihan dan kekurangan. Garis besar kelebihan dan kekurangan model Deterministik dan Stokastik dapat dilihat pada Tabel 4.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Model Deterministik bersifat lebih teliti karena proses antara masukan hingga menghasilkan keluaran model digambarkan dalam model secara terinci. Pada umumnya model ini tidak mudah untuk diaplikasikan karena memerlukan pengamatan lapang yang rinci sehingga tidak mudah dilakukan secara berkesinambungan di banyak lokasi. Model Statistik tidak dapat menggambarkan proses antara masukan dan keluaran secara rinci, tetapi karena parameter masukannya mudah diperoleh, maka mudah diaplikasikan untuk prediksi jangka panjang.

Model Prediksi penyakit DBD, baik model Deterministik maupun model Stokastik, telah banyak dibangun oleh peneliti atau pembangun model. Model Stokastik semi Deterministik yang telah ada antara lain CinSim-DenSim (Fock, 1993. Fock, 1995. Sintorini (2006) mengembangkan model Deterministik penularan penyakit DBD untuk wilayah DKI Jakarta. Model Stokastik telah banyak dibangun antara lain oleh Sasmito *et al.* (2006); Sukowati (2004); Schreiber (2001), termasuk dengan pendekatan model hidrologi untuk pendugaan angka kejadian penyakit DBD, yaitu *Ecological Niche Model* (Peterson *et al.*, 2005).

Tabel 4. Kelebihan dan kekurangan Model Deterministik dan Stokastik

Model	Kelebihan	Kekurangan
Deterministik	<ul style="list-style-type: none"> Bentuk model bersifat lebih pasti Teliti dan terinci, Proses dapat diikuti dengan jelas Tidak bersifat spesifik lokasi Tidak memerlukan data yang bersifat random 	<ul style="list-style-type: none"> Penyusunan model relatif lebih rumit, harus dapat menggambarkan mekanisme proses input-output seideal mungkin Aplikasi relatif lebih sulit karena umumnya membutuhkan banyak data masukan dan parameter Dengan satu input, model menghasilkan output tunggal
Stokastik	<ul style="list-style-type: none"> Penyusunan model relatif mudah, bentuk model relative sederhana, dan mudah diaplikasikan Tidak harus mengetahui proses Dengan input yang sama menghasilkan beberapa output dengan tingkat peluang yang berbeda 	<ul style="list-style-type: none"> Model bersifat spesifik lokasi Kurang rinci, ada black box dalam proses antara masukan dan keluaran Mensyaratkan sifat random pada data, terutama data input

Sumber : Cruz (2006) ; Handoko (2005) , http://www.biology-online.org/dictionary/Stochastic_model;
http://en.wikipedia.org/wiki/Stochastic_modelling

Reiter (2001) merangkum hasil studi prediksi berdasarkan iklim, yang antara lain berdasarkan model prediksi oleh pengaruh iklim pada penyakit yang diakibatkan nyamuk berdasar pada konsep dasar dari dinamika transmisi, yaitu *vectorial capacity* (C), yang menggambarkan risiko transmisi:

$$C = \frac{ma^2p^n}{-\log_e p}$$

Di mana,

m : adalah kepadatan nyamuk per orang,

a : adalah rata-rata jumlah gigitan per hari per nyamuk,

p : adalah nilai harapan hidup nyamuk selama beberapa hari, dan

n : adalah periode inkubasi ekstrinsik.

Besaran n dipengaruhi langsung oleh iklim, yakni suhu. Karena p relatif seragam, maka p^n akan meningkat dengan meningkatnya suhu. Perhitungan C tergantung dari nilai-nilai kuantitatif yang hanya dapat didapatkan di lapangan, dan nilai realistiknya sulit untuk diduga, sebab pengukurannya tergantung dari asumsi yang sangat kompleks. Terlebih lagi, C terbatas pada parameter entomologi dan panjangnya periode inkubasi ekstrinsik, tidak dihubungkan dengan laju parasit pada tubuh manusia dan nyamuk, maupun faktor-faktor ekologi dan faktor lain. Akibatnya model tersebut kurang tepat untuk pendekatan pengaruh perubahan iklim maupun perubahan iklim jangka panjang pada angka kejadian penyakit. Pendekatan alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan mempelajari sejarah penyakit tertular nyamuk pada latitud yang berbeda dan pada wilayah iklim dan faktor lain yang berbeda yang berpengaruh pada penularan.

Studi yang menghubungkan angka kejadian penyakit DBD dengan unsur-unsur iklim secara parsial, yaitu dengan curah hujan, suhu, kelembaban udara atau intensitas radiasi (Sasmito *et al.*, 2006; Sukowati, 2004., Hales *et al.*, 2002), belum mendapatkan hasil yang dapat dipakai untuk prediksi. Hubungan yang lebih baik disarankan oleh Aiken, Frost dan Leigh (1980) dengan menghubungkan angka kejadian DBD dengan komponen neraca air. Schreiber (2001), mendapatkan hubungan yang lebih baik antara 10 komponen neraca air dengan angka kejadian DBD musiman dengan koefisien determinasi model sebesar $R^2 = 88\%$, dan mingguan dengan koefisien determinasi model sebesar $R^2 = 44,1\%$. Meskipun demikian mereka menyimpulkan bahwa model prediktif yang disusun untuk menduga angka kejadian DBD 3 minggu ke depan kurang baik jika hanya memakai prediktor tunggal komponen neraca air.

Untuk menyatakan keadaan iklim yang kompleks ke dalam bentuk yang lebih sederhana dapat dinyatakan dalam berbagai indeks. Indeks yang telah ada antara lain berbagai klasifikasi iklim, indeks Palmer dan indeks *humidity-aridity* dalam hubungannya dengan neraca lengas, dan juga berbagai indeks biometeorologi. Salah satu indeks yang berhubungan dengan kenyamanan ruangan adalah THI (*temperature humidity index*) merupakan suatu indikasi keadaan ke tidak nyamanan pada tempat yang terlindung dari radiasi matahari langsung (Tromp, 1980). Indeks demikian berpotensi untuk menduga keadaan iklim yang optimal bagi penularan penyakit DBD.

2.5. Prediksi, Upaya Antisipasi dan Strategi Penanggulangan

Masalah yang sering dibahas oleh peneliti dan praktisi setelah tahun 1980-an adalah masalah perubahan iklim oleh meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer setelah era revolusi industri. Menurut IPCC (2001), perubahan iklim meningkatkan frekuensi dan intensitas kejadian iklim ekstrim antara lain gelombang panas/ dingin atau banjir / kekeringan, yang membawa dampak pada meningkatnya kejadian penyakit yang dibawa oleh inang yang lahir di air, antara lain penyakit malaria dan DBD. Lebih tingginya suhu ditunjang dengan pola curah hujan yang semakin berfluktuasi memperpanjang musim transmisi di lokasi endemik, bahkan memungkinkan terjadinya transmisi penyakit ke daerah baru.

Indonesia merupakan negara yang sedang berkembang dengan jumlah penduduk, tingkat sosial ekonomi dan pelayanan kesehatan yang tidak merata, merupakan negara dengan tingkat potensi terkena dampak perubahan iklim yang besar. Dampak yang dikhawatirkan antara lain adalah meledaknya penyakit Demam Berdarah Dengue, yang erat kaitannya dengan variabilitas iklim.

Hingga saat ini alasan mengapa epidemik DBD terjadi secara dramatik tidak diketahui sepenuhnya, tetapi jelas berhubungan dengan perubahan demografi dan sosial (Gubler 2002) . Di masa mendatang pesatnya pertumbuhan populasi, terutama di pusat kota di negara sedang berkembang merupakan penyebab utama penyebaran virus Dengue. Transportasi moderen berperan sebagai pembawa virus maupun nyamuk penyebab DBD. Pemisahan wewenang infrastruktur kesehatan masyarakat juga meningkatkan peluang penularan sekunder dari penyakit ini. Mayoritas penduduk tinggal di pusat kota dengan kondisi yang berdesakan, berasosiasi dengan besarnya

populasi nyamuk *Aedes aegypti*, menimbulkan kondisi yang ideal untuk terjadinya penularan penyakit DBD (Gubler, 2004).

Penyusunan model-model teoritis yang dapat dipakai untuk menyusun upaya antisipasi perubahan global penyakit tertentu serta model-model analisis mengenai strategi pengendaliannya perlu disusun dengan memasukkan komponen-komponen yang sebelumnya jarang dimasukkan dalam perhitungan, seperti ekologi lanskap, temperatur optimum untuk perkembangan vektor, pergerakan populasi penduduk, tempat-tempat perindukan penyakit, dan reservoir alami. Untuk usaha intervensi perlu pula disusun model manajemen pengendalian yang terintegrasi, yang memahami benar sifat-sifat dan epidemiologi tiap penyakit, serta pembentukan kantung kantung penyakit baru (*niche*) sebagai akibat pemanasan bumi, penambahan curah hujan, dan perubahan fenomena fisik bumi lainnya (Agoes, 2005).

Aplikasi yang kreatif dan terorganisir dari sumberdaya yang ada merupakan hal yang sangat diperlukan untuk mengontrol penyakit ini menghadapi perubahan iklim pada masa mendatang (Reiter, 2001). Adanya sistem surveilance yang baik, pemodelan epidemiologi dan teknologi informasi memunculkan harapan disusunnya sistem kewaspadaan dini. Sistem kewaspadaan dini dengue merupakan salah satu metode yang dikembangkan untuk upaya antisipasi dan pencegahan timbul dan berkembangnya penyakit DBD (Myers *et al.*, 2000).

2.6. Strategi Antisipasi dan Penanggulangan Penyakit DBD di Indonesia Saat Ini

Kewaspadaan dini telah dicanangkan oleh pemerintah dengan diterbitkannya Petunjuk Pelaksanaan (juklak) pengamatan dan pencegahan KLB DBD oleh Ditjen PPM & PLP, Depkes (1990). Dalam juklak tersebut aktivitas pencegahan diutamakan melalui aktivitas pemberantasan sarang nyamuk (PSN) oleh masyarakat dan swasta di bawah pengawasan jajaran Depkes. Meskipun demikian PSN tidak dicanangkan rutin sepanjang tahun. PSN hanya digerakkan sebelum musim penularan, paling lambat per 3 bulan, jika ada kasus penyakit atau dikhawatirkan terjadi KLB oleh karena di wilayah terdekat telah terjadi KLB DBD. Juklak lebih banyak mengatur pengasapan (*fogging*, lihat tabel 5).

Dalam Juklak tahun 1990, penyediaan alat dan bahan pengasapan dalam penanggulangan KLB diatur berjenjang dari Depkes pusat hingga Dinkes DT II (kabupaten atau kota). Volume persediaan alat dan bahan belum diatur berdasarkan

prediksi, tetapi dalam jumlah yang tetap, yakni meliputi stok untuk 100.000 rumah di pusat, 12.000 rumah di tingkat propinsi dan untuk 20.000 jiwa untuk tingkat DT II.

Dalam pelaksanaan di lapangan, Dinkes kota/kabupaten merujuk pada Juklak tahun 1990 tersebut. PSN dikaitkan dengan kegiatan Jumat bersih. Periode penggerakan masyarakat untuk melaksanakan PSN serta penyediaan bahan dan alat untuk penanggulangan penyakit ditentukan berdasarkan waktu dan tingkat kejadian penyakit dalam tiga tahun terakhir. Pokjanal (kelompok kerja nasional) di setiap tingkatan pemerintahan disusun dengan keanggotaan terdiri dari banyak unsur dinas / instansi / lembaga, yakni Kesehatan, Pendidikan, Penerangan, Agama, Sosial, Bappeda, kantor PMD, Setwilda, Tim penggerak PKK dan Tim pembina UKS (Depkes RI, 2006).

Table 5. Dasar Penentuan Kegiatan PSN, Penanggulangan Fokus dan Penanggulangan KLB

Tindakan	PSN	Penangg. Fokus	Penangg. KLB	PSMP*
Cakupan Wil. Dan Indikasi	(1) RW; 1 orang penderita, HI < 10%. (2) RW; kota yang berisiko KLB karena adanya KLB di kota lain	(1) RW; ≥ 3 orang panas di sekitar rumah penderita DBD; HI > 10% (2) RW; > 2 penderita dalam < 4 mg (3) Kelurahan, Jml penderita meningkat 2 x mg sebelumnya (4) Kelurahan; Jml Penderita bulanan meningkat 2 x bln sebelumnya atau bulan sebelumnya thn lalu	(1) Kelurahan, Jml penderita meningkat 2 x mg sebelumnya dan di sebag besar RW terdapat penderita (2) Kelurahan; Jml Penderita bulanan meningkat 2 x bln sebelumnya atau bulan sebelumnya thn lalu dan di sebag besar RW terdapat penderita (3) DT II; Jumlah penderita 1, sebelumnya tak pernah ada	Kelurahan; setiap thn selama 3 thn terakhir ada penderita

Sumber : Depkes, 1990

Keterangan :

PSN : Penyuluhan dan Penggerakan masyarakat untuk PSN (tingkat RW)

Penanggulangan Fokus : Fogging 1- 2 siklus, PSN (tingkat RW)

Penanggulangan KLB : Fogging 2 siklus, PSN , Abatisasi (tingkat kelurahan)

Penanggulangan sebelum Musim Penularan (PSMP) : Fogging 1 – 2 siklus, PSN, Pemantauan jentik berkala pada wilayah setempat (paling lambat per 3 bulan)

* Beberapa tahun terakhir Fogging masal sebagai PSPM sudah tidak direkomendasikan oleh Depkes, akan tetapi beberapa Dinkes Kota/Kabupaten masih menerapkannya.