

ISSN 2086 – 2253

JURNAL KOMPETENSI TEKNIK

Pengaruh Suhu pada Proses Perendaman terhadap Daya Susut Kain Batik dari Serat Kapas

Sri Endah Wahyuningsih

Menentukan Titik Optimal Koagulasi Santan dengan Pendekatan Filtrasi

Muhammad Ansori

Karakteristik Pembakaran Briket Arang Tongkol Jagung

Danang Dwi Saputro

Pengaruh Pemasangan Kapasitor pada Karakteristik Generator Induksi sebagai Komponen Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Henry Ananta, Isdiyarto

Studi Eksperimen Pengaruh Alur Permukaan Sirip pada Sistem Pendingin Mesin Kendaraan Bermotor

Samsudin Anis, Aris Budiyo

Aplikasi Serat Sisal sebagai Komposit Polimer

Adhi Kusumastuti

Kegagalan Panggil (*Fail Connection*) pada Sistem Jaringan Telepon Selular (GSM)

Ulfah Mediaty Arief

EDISI PERDANA

Volume 1, Nomor 1, November 2009

ISSN 2086-2253



7 72086 225356

DITERBITKAN OLEH:
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Studi Eksperimen Pengaruh Alur Permukaan Sirip pada Sistem Pendingin Mesin Kendaraan Bermotor

Samsudin Anis¹ dan Aris Budiyo²

^{1,2} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
samsudin_anis@yahoo.com

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek desain alur permukaan sirip terhadap nilai koefisien perpindahan kalor rerata pada permukaan sirip sebagai penghantar kalor pada sistem pendingin mesin kendaraan bermotor. Spesimen terbuat dari naptalin dan diuji di dalam terowongan angin. Kecepatan aliran fluida bervariasi dari 1,3 m/s hingga 2,2 m/s. Dengan mengukur pengurangan massa naptalin yang menguap dapat dihitung koefisien perpindahan massanya. Selanjutnya, koefisien perpindahan kalor dapat ditentukan dengan menggunakan analogi perpindahan kalor dan massa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain alur permukaan sirip berpengaruh pada sistem pendingin mesin kendaraan bermotor. Hal ini karena bentuk alur permukaan yang berbeda menghasilkan pola aliran dan distribusi kecepatan fluida yang berbeda sehingga berbeda pula nilai koefisien perpindahan kalornya. Hasil penelitian menunjukkan juga bahwa profil gelombang dengan alur tegak lurus arah aliran fluida dapat meningkatkan nilai koefisien perpindahan kalor hingga 18% terhadap profil gelombang dengan alur sejajar aliran fluida. Ini menunjukkan bahwa penggunaan profil gelombang dengan alur tegak lurus aliran fluida pada sistem pendingin kendaraan bermotor khususnya sepeda motor akan lebih optimal membuang kalor ke lingkungan.

Kata kunci: Perpindahan kalor, profil permukaan sirip, sistem pendingin mesin

1. Pendahuluan

Kondisi mesin yang terlalu panas (*overheat*) sering terjadi pada mesin kendaraan bermotor. Gejala *overheat* dapat dideteksi melalui beberapa indikator yaitu tenaga mesin berkurang disertai dengan suara *ngelitik* jika kendaraan dipacu pada kecepatan tinggi dan meningkatnya temperatur kerja mesin ($>90^{\circ}\text{C}$). Hal ini dapat terjadi karena sistem pendingin tidak bekerja secara optimal. Salah satu faktor penyebabnya adalah arus lalu-lintas yang semakin padat dan selalu macet. Kondisi lalu-lintas tersebut tidak memungkinkan sepeda motor melaju secara konstan sehingga putaran mesin turun naik. Terlebih lagi, secara geografis Indonesia berada di garis katulistiwa yang beriklim tropis. Akibatnya proses pendinginan mesin tidak berjalan maksimal sehingga berpotensi menimbulkan *overheat*. Dampak yang ditimbulkan adalah pemakaian bahan bakar menjadi boros, tenaga mesin berkurang, mesin menjadi macet, dan yang lebih fatal adalah mengakibatkan kerusakan mesin.

Berdasar kondisi di atas, sangatlah perlu mengambil langkah-langkah antisipatif untuk meminimalisasi terjadinya *overheat* melalui optimalisasi kinerja sistem pendingin mesin. Optimalisasi ini dapat dilakukan dengan berbagai metode, salahsatunya adalah dengan melakukan modifikasi geometri sirip. Sirip merupakan sekumpulan konduktor termal dengan geometri tertentu yang dipasang paralel sebanyak mungkin untuk memperluas bidang kontak dengan udara luar agar panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar dalam silinder mesin dapat segera dilepas ke lingkungan. Hal ini dilakukan untuk menjaga kondisi mesin tetap pada temperatur kerjanya.

Terkait dengan masalah sirip di atas, Anis dan Budiyo (2006) telah melakukan penelitian awal yang melibatkan variasi bentuk sirip pada sistem pendingin mesin kendaraan bermotor. Namun demikian, kinerja sistem pendingin tidak hanya dipengaruhi oleh bentuk sirip saja tetapi masih ada faktor lain yang memungkinkan berpengaruh secara langsung pada sistem

pendingin mesin tersebut seperti geometri permukaan sirip. Oleh karena itu, penelitian tentang faktor geometri permukaan sirip perlu dilakukan mengingat faktor ini belum dikaji pada penelitian di atas. Penelitian ini menggunakan bentuk sirip segiempat dengan profil permukaan gelombang dan ditekankan pada desain alur permukaan sirip. Variasi desain alur permukaan sirip yang dilakukan meliputi alur sejajar, diagonal, dan tegak lurus arah aliran udara yang diuji pada berbagai kecepatan aliran udara.

Usaha-usaha untuk meningkatkan koefisien perpindahan kalor dengan jalan merubah bentuk geometris, posisi, dan arah aliran udara antara lain diungkapkan oleh Anis dan Budiyo (2006) yang meneliti pengaruh bentuk sirip pada sistem pendingin mesin kendaraan bermotor. Empat macam bentuk sirip diuji dalam terowongan angin dengan kecepatan aliran udara yang bervariasi. Bentuk sirip terdiri dari sirip segiempat, segitiga, silindris, dan baji. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sirip segi-empat menghasilkan nilai koefisien perpindahan kalor yang lebih baik.

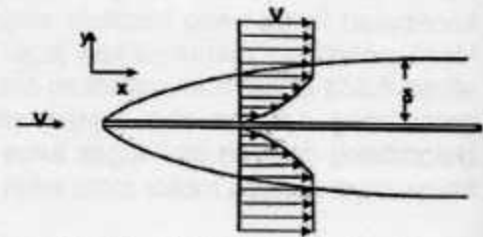
Ling dkk (1994) meneliti perpindahan kalor dan penurunan tekanan pada sirip segitiga pada dinding yang berlawanan dalam ruang berbentuk persegi. Dengan melakukan variasi jarak antar sirip, tinggi dan lebar sirip serta perbandingannya, didapatkan koefisien perpindahan kalor dari dinding sirip persegi 1 hingga 2,3 kali lebih besar dari dinding yang lebih halus dan penurunan tekanannya lebih besar 1 hingga 10 kali.

Nassif dkk (1995) melakukan eksperimen dengan menggunakan teknik sublimasi naptalin untuk menentukan koefisien perpindahan massa rata-rata pada plat tipis dengan aliran udara paralel yang dilakukan di terowongan angin. Empat macam plat naptalin dengan panjang yang berbeda diuji pada kecepatan angin yang bervariasi. Koefisien perpindahan massa rata-rata diperoleh dengan mengukur perubahan massa plat selama waktu tertentu, dengan kecepatan udara tertentu pula. Data yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan hasil empirik.

Chyu dkk (1999) menyelidiki pengaruh aliran masuk tegak lurus pada perpindahan kalor/massa susunan sirip. Eksperimen menggunakan plat berisi susunan pin berukuran tujuh baris dan lima kolom dengan variasi jarak antar pin, diameter dan susunan pin. Udara dialirkan pada masukan yang berbeda, yaitu ditepi kiri, kanan, dan ditengah. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa posisi aliran ditengah lebih baik dari yang lain.

1.1. Teori lapis batas

Analisa *perpindahan* kalor pada plat atau sirip tidak terlepas dari teori lapis batas. Ilustrasi lapis batas dengan aliran sepanjang plat dapat dilihat pada Gambar berikut:



Gambar 1. Profil lapis batas kecepatan pada permukaan plat

Penyelesaian analitik untuk menghitung koefisien perpindahan kalor pada aliran laminar ($Re < 5 \times 10^5$) di atas plat datar adalah (Incropera dan DeWitt, 1996):

$$Nu = \frac{hx}{k} = 0,664 Re^{1/2} Pr^{1/3} \dots\dots\dots 1)$$

dengan $Pr \geq 0,6$

Dalam ungkapan itu, h merupakan angka konveksi. Pada suatu sirip atau pada angka tersebut sangat menentukan jumlah kalor yang dapat dilepaskan ke lingkungan.

1.2. Analogi perpindahan kalor dan massa

Metode analogi perpindahan kalor dengan perpindahan massa didasarkan pada analogi Reynolds yang menghubungkan parameter-parameter kunci dari lapis batas kecepatan, termal, dan konsentrasi dengan angka Prandtl dan Schmidt 1. Analogi ini kemudian dikembangkan oleh Chilton

untuk perpindahan kalor dan massa pada kisaran angka Prandtl dan Schmidt yang lebih luas dalam bentuk persamaan (Incropera dan DeWitt, 1996):

$$Nu = j_H; 0,6 < Pr < 60 \dots\dots 2)$$

$$Sh = j_m; 0,6 < Sc < 3000 \dots\dots 3)$$

Untuk perpindahan kalor dengan perpindahan massa dapat diperoleh persamaan mengikuti (Rhine dan Tucker, 1996):

$$Nu = Sh \cdot Sc^{-1/4} \dots\dots\dots 4)$$

Untuk perpindahan kalor diperoleh persamaan asumsi bilangan Reynolds kedua fluida dan faktor j yang sama, yaitu:

$$\left[\frac{Sc}{Pr} \right]^{1/4} \dots\dots\dots 5)$$

Untuk perpindahan massa dihitung dengan persamaan:

$$\frac{h \cdot R \cdot T}{p \cdot M_N} \dots\dots\dots 6)$$

Bilangan massa (\dot{m}) dihitung dari perbedaan massa yang hilang dengan waktu yang digunakan. A adalah luas permukaan sirip dan Δp adalah $p - p_{\infty}$. p merupakan tekanan uap jenuh naptalin permukaan benda uji pada suhu ruang dan p_{∞} adalah tekanan naptalin di aliran udara bebas ($= 0$). R adalah konstanta gas universal ($= 8314 \text{ N.m.kg mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), dan M_N adalah berat molekul naptalin (C_{10}H_8 , $C = 12,01$ dan $H = 1,008$). Temperatur dihitung berdasarkan temperatur udara lingkungan rata-rata.

Tekanan uap naptalin p (N/m^2) merupakan fungsi temperatur T (K) dihitung dengan persamaan (Ling dkk., 1994):

$$\log p = 13,564 - \frac{3729,4}{T} \dots\dots\dots 7)$$

dan bilangan Schmidt naptalin dihitung dengan persamaan:

$$Sc = \frac{8,0743}{T^{0,2165}} \dots\dots\dots 8)$$

Selanjutnya bilangan Nusselt (Nu) dan bilangan Reynolds (Re) pada penelitian ini dihitung dengan:

$$Nu = \frac{hL}{k} \dots\dots\dots 9)$$

$$Re = \frac{VL}{\nu} \dots\dots\dots 10)$$

dengan panjang karakteristik (L) merupakan panjang total benda uji.

2. Metode Penelitian

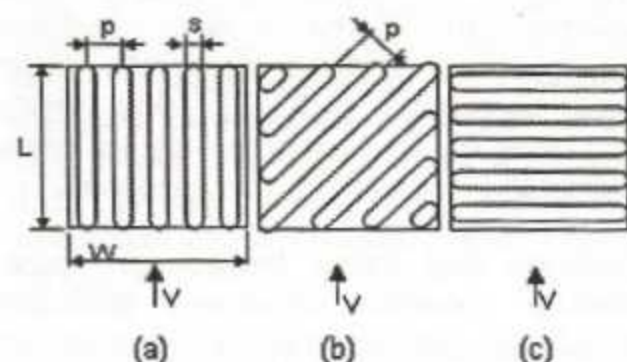
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah naptalin yang dicetak dalam bentuk plat. Profil permukaan yang digunakan adalah gelombang dengan variasi alur permukaan seperti terlihat pada Gambar 2. Dalam penelitian ini, ada dua parameter utama yaitu: 1) alur permukaan sirip meliputi posisi alur sejajar, diagonal, dan tegak lurus arah aliran udara dan 2) kecepatan aliran udara (V) digunakan empat variasi kecepatan. Sedangkan variabel-variabel yang diukur dalam penelitian ini adalah: 1) massa awal spesimen (m_1), 2) massa akhir spesimen (m_2), 3) beda tekanan kecepatan aliran udara percobaan (Δp), 4) lama waktu percobaan (t), 5) temperatur aliran udara percobaan (T), dan 6) ukuran spesimen.

Spesimen diuji dalam terowongan angin. Sebelum spesimen dipasang, dilakukan pengukuran geometri menggunakan vernier caliper, kemudian ditimbang pada timbangan digital untuk mengetahui massa awal spesimen. Selama pengujian, beda tekanan kecepatan aliran udara dan temperatur seksi uji dicatat tiap 10 menit untuk mendapatkan tekanan dan temperatur rata-ratanya. Pengukuran tekanan kecepatan aliran udara menggunakan manometer sedangkan temperatur menggunakan termokopel dan dibaca pada digital termometer. Massa spesimen setelah pengujian ditimbang kembali untuk mengetahui massa akhir spesimen. Perbedaan massa sebelum dan setelah

pengujian digunakan untuk perhitungan koefisien perpindahan kalor. Semua instrumen yang digunakan terkalibrasi sesuai dengan teknik standard yang digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya.

3. Hasil dan Pembahasan

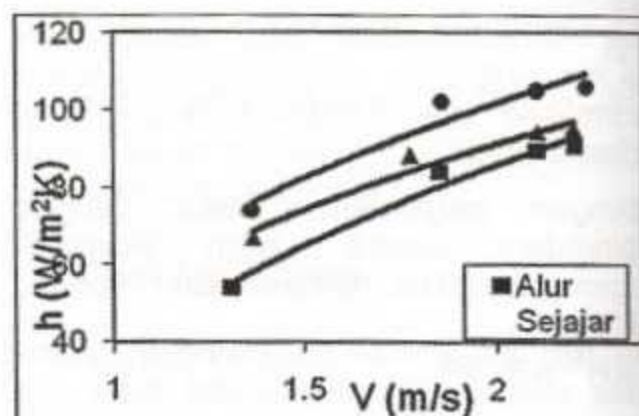
Penelitian ini menguraikan tentang efek desain posisi alur permukaan sirip pada sistem pendingin mesin kendaraan bermotor. Posisi alur permukaan sirip menentukan jumlah kalor yang dapat *dibuang* ke lingkungan yang dicirikan oleh koefisien perpindahan kalor. Untuk mendapatkan informasi efek perubahan geometri tersebut, telah dilakukan eksperimen yang melibatkan tiga jenis posisi alur permukaan sirip yaitu alur sejajar, alur diagonal, dan alur tegak lurus arah aliran fluida. Metode yang digunakan adalah metode analogi perpindahan kalor dan massa dimana spesimen terbuat dari naptalin. Pengurangan massa naptalin digunakan untuk menghitung koefisien perpindahan massa yang selanjutnya dengan analogi dapat dihitung koefisien perpindahan kalornya.



Gambar 2. Geometri spesimen, (a) profil gelombang, alur sejajar, (c) profil gelombang, alur diagonal, dan (d) profil gelombang, alur tegak lurus

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara koefisien perpindahan kalor (h) dengan kecepatan aliran fluida (V) pada variasi alur permukaan sirip. Secara umum, nilai koefisien perpindahan kalor mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya

kecepatan aliran fluida. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah massa yang terbawa aliran fluida akibat gaya gesek di permukaan sirip semakin besar karena kecepatan aliran fluida yang tinggi menghasilkan energi mekanik yang besar pula.



Gambar 3. Profil koefisien perpindahan kalor pada variasi alur permukaan

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa variasi alur permukaan memberikan nilai koefisien perpindahan kalor yang berbeda. Nilai koefisien perpindahan kalor terbesar diperoleh pada alur tegak lurus arah aliran fluida, kemudian diikuti oleh alur diagonal dan yang terkecil diperoleh pada alur sejajar arah aliran fluida. Nilai koefisien perpindahan kalor rerata pada masing-masing alur tersebut berturut-turut adalah $97,014 W/m^2K$, $86,349 W/m^2K$, dan $79,833 W/m^2K$. Dari nilai tersebut dapat diketahui bahwa penggunaan profil gelombang dengan alur tegak lurus arah aliran fluida mampu meningkatkan nilai koefisien perpindahan kalor sebesar 11 % terhadap alur diagonal dan 18 % terhadap alur sejajar.

Pengamatan fisik menunjukkan bahwa pengurangan massa yang terjadi pada permukaan sirip gelombang dengan alur tegak lurus arah aliran fluida tidak seragam, dimana pada daerah yang tidak jauh dari depan sirip mengalami kehilangan massa yang cukup besar akibat efek pengerukan oleh resirkulasi aliran fluida, sehingga membantu menaikkan koefisien perpindahan kalor.

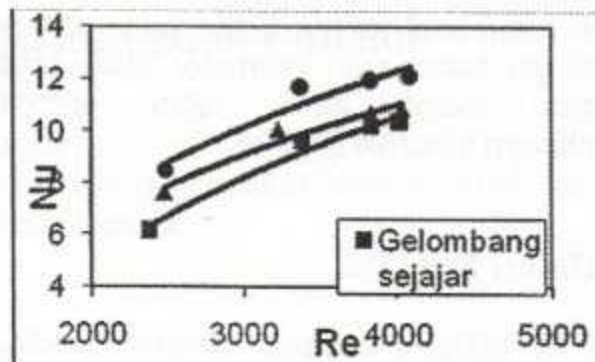
Sesuai teori lapis batas bahwa aliran fluida pada daerah pengecilan luas penampang akan mengalami peningkatan kecepatan

gan menurunnya tekanan, dan efisiensi akan menurun dengan meningkatnya tekanan aliran fluida pada arah pembesaran luas penampang. Peningkatan tekanan tersebut memungkinkan terbentuknya daerah aliran terpisah (separated flow-region) sehingga terjadi resirkulasi aliran fluida, yang selanjutnya pola aliran fluida menjadi tidak teratur dan acak yang dapat memperbesar koefisien perpindahan kalor.

Prinsip ini dapat dipahami bahwa profil aliran dengan alur tegak lurus arah aliran fluida memiliki potensi resirkulasi aliran fluida yang lebih besar. Sedangkan pada alur diagonal dimana aliran fluida pada permukaan membentuk sudut tertentu, memungkinkan terjadinya slip sehingga potensi resirkulasi aliran pada bagian belakang gelombang relatif kecil. Demikian pula pada alur sejajar dimana aliran fluida cenderung seragam sepanjang permukaan sirip sehingga potensi resirkulasi aliran semakin kecil.

Hal tersebut menunjukkan bahwa posisi permukaan sirip menghasilkan pola aliran fluida, distribusi kecepatan fluida, dan lintasan partikel fluida yang berbeda. Perolehan nilai koefisien perpindahan kalor yang tinggi pada profil gelombang alur tegak lurus tersebut memungkinkan karena memiliki pola aliran fluida yang tidak teratur sepanjang permukaan sirip, sebagaimana diketahui bahwa pola aliran yang acak akan menghasilkan nilai koefisien perpindahan kalor yang besar.

Hubungan bilangan Nusselt (Nu) dan bilangan Reynolds (Re) menggambarkan koefisien perpindahan kalor konveksi tak dimensi sebagai fungsi bilangan Reynolds. Gambar 4 memperlihatkan hubungan tersebut untuk sirip yang diuji dengan variasi alur permukaan sirip. Dari grafik tampak bahwa peningkatan bilangan Reynolds akan diikuti meningkatnya bilangan Nusselt.



Gambar 4. Profil bilangan Nusselt pada variasi profil permukaan sirip

Peningkatan bilangan Nusselt pada profil gelombang dengan alur tegak lurus arah aliran fluida cenderung lebih tinggi dibanding bentuk lainnya dengan meningkatnya bilangan Reynolds. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa profil gelombang dengan alur tegak lurus arah aliran fluida relatif lebih mudah mengalami pemisahan aliran akibat peningkatan tekanan yang signifikan pada titik belok, sehingga pola aliran menjadi tidak teratur dan acak yang mengakibatkan besarnya jumlah massa yang hilang. Hal ini mengindikasikan bahwa pengurangan massa pada permukaan sirip akan meningkat akibat momentum fluida yang semakin besar. Momentum tersebut dihasilkan oleh gaya-gaya inersia yang semakin dominan pada permukaan dengan meningkatnya kecepatan aliran fluida dibanding gaya-gaya viskos. Dengan kata lain, meningkatnya gangguan aliran fluida pada permukaan sirip menyebabkan pola aliran menjadi tidak teratur yang bermuara pada meningkatnya bilangan Nusselt.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa posisi alur permukaan sirip berpengaruh pada sistem pendingin mesin kendaraan bermotor. Hal ini karena bentuk alur permukaan yang berbeda menghasilkan pola aliran dan distribusi kecepatan fluida yang berbeda. Selain itu, penggunaan alur tegak lurus arah aliran fluida pada permukaan sirip dapat meningkatkan nilai koefisien perpindahan kalor hingga 11% terhadap alur diagonal dan 18% terhadap alur sejajar. Ini

menunjukkan bahwa penggunaan alur sirip tegak lurus arah aliran fluida pada sistem pendingin kendaraan bermotor khususnya sepeda motor akan lebih optimal membuang kalor ke lingkungan.

5. Daftar Pustaka

- Anis S. 2003. *Pengaruh Bentuk Leading Edge Terhadap Perpindahan Kalor pada Plat Datar*. Tesis S-2. UGM. Yogyakarta.
- Anis S., dan Budiyono A. 2006. *Pengaruh Bentuk Sirip Pada Sistem Pendingin Mesin Kendaraan Bermotor*. Penelitian Dosen Muda. DP2M DIKTI. Unnes. Semarang.
- Burmeister L.C. 1983. *Convective Heat Transfer*. John Wiley & Sons. New York.
- Chyu M.K., Hsing Y., Natarajan V., Chiou J.S. 1999. *Effect of Perpendicular Flow Entry on Convective Heat/Mass Transfer from Pin-Fan Array*. Transaction of the ASME. Vol. 121. hal. 668 – 674.
- Incropera F.P., DeWitt D.P. 1996. *Fundamentals of Heat Transfer*. Ed. 2. John Willey & Sons. New York.
- Ling C.M., Jin Y.Y., Chen Z.Q. 1994. *Heat/Mass Transfer and Pressure Drop in Triangular – Rib – Roughened Rectangular Channel*. Int. Journal Heat and Fluid Flow. Vol. 15. No. 6. hal. 486 – 490.
- Miranti E. 2004. *Prospek Industri Sepeda Motor di Indonesia*. Economic Review Journal. No. 198.
- Nassif N.J., Janna W.S., Jakobouski G.S. 1995. *Mass Transfer from a Sublimating Naphthalene Flat Plate to a Parallel Flow of Air*. Int. J. Heat-Mass Transfer. Vol. 38. No. 4. hal. 691 – 700.
- Rhine J.M., Tucker R.J. 1991. *Modeling of Gas Fired Furnaces and Boilers*. Ed. 1., McGraw Hill Book Co. London.
- Schlichting H. 1979. *Boundary Layer Theory*. Ed. 7. McGraw-Hill Book Co. New York.