

Pengaruh perubahan spasi nosel pada aliran dua fase terhadap kinerja *liquid-gas ejector*

Supandi^{1*}, Edi Karyadi², Hadimi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak
Jl. Ahmad Yani Kota Pontianak Kalimantan Barat Indonesia
^{*}Corresponding author: supandi.polnep@gmail.com

Abstract

Liquid-gas ejector is an energy conversion device capable of flowing air fluid by utilizing water fluid based on the pressure difference between the two fluids without using moving parts. This study aims to determine the effect of changing nozzle spacing on the two-phase flow on the performance of the liquid-gas ejector. The method used is to carry out an experiment whose stages include: determination of nozzle spacing parameters, primary flow rate, and secondary flow rate. Then perform tests on the liquid-gas ejector installation and collect data. The test was carried out by alternately varying the nozzle spacing, primary flow rate, and secondary flow rate. Then analyze the data that has been collected to get the efficiency or performance of the liquid-gas ejector from changes in nozzle spacing. Increasing the nozzle spacing causes a decrease in the efficiency of the liquid gas ejector. The efficiency of the liquid gas ejector with nozzle spacing 5, 10, 15, 20, and 25 mm is 17.17%, 13.49%, 12.06%, 11.41, respectively. %, and 10.47%.

Keywords: *Nozzle spacing, flow, two phases, performance, liquid-gas ejector.*

Abstrak

*Liquid-gas ejector adalah suatu alat konversi energi yang mampu mengalirkan fluida udara dengan memanfaatkan fluida air berdasarkan perbedaan tekanan di antara kedua fluida tersebut tanpa menggunakan bagian-bagian yang bergerak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan spasi nosel pada aliran dua fase terhadap kinerja *liquid-gas ejector*. Metode yang digunakan yaitu dengan melakukan eksperimen yang tahapannya meliputi: penentuan parameter spasi nosel, laju aliran primer, dan laju aliran sekunder. Kemudian melakukan pengujian pada instalasi *liquid-gas ejector* dan pengumpulan data. Pengujian dilakukan dengan cara memvariasikan spasi nosel, laju aliran primer, dan laju aliran sekunder secara bergantian. Selanjutnya menganalisa data-data yang sudah dikumpulkan untuk mendapatkan efisiensi atau kinerja *liquid-gas ejector* dari perubahan spasi nosel. Meningkatnya spasi nosel menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi *liquid-gas ejector*. Adapun efisiensi liquid gas ejector dengan spasi nosel 5, 10, 15, 20, dan 25 mm secara berurutan adalah 17,17%, 13,49%, 12,06%, 11,41%, dan 10,47%.*

Kata kunci: *spasi nosel, aliran, dua fase, kinerja, liquid-gas ejector*

Pendahuluan

Liquid-gas ejector adalah suatu alat konversi energi yang mampu mengalirkan fluida udara dengan memanfaatkan fluida air berdasarkan perbedaan tekanan diantara kedua fluida tersebut tanpa menggunakan bagian-bagian yang bergerak. Selain mampu mengalirkan fluida dalam berbagai fase, *liquid-gas ejector* mempunyai desain

yang sederhana dan dimensi yang kecil sehingga instalasinya mudah dan murah.

Liquid-gas ejector merupakan jenis vacuum pump ejector yang berfungsi membangkitkan kevakuman gas (tekanan di bawah tekanan atmosfer). Vacuum pump ejector banyak diaplikasikan pada industri besar, menengah, dan kecil. Pada industri skala besar (industri kimia misalnya)

vacuum pump ejector digunakan sebagai pompa atau kompresor untuk fluida korosif dan berbahaya. Sedangkan pada industri kecil dan menengah, vacuum pump ejector dipakai sebagai pompa vakum untuk proses produksi yang mengolah bahan pangan yang memerlukan proses pengolahan pada tekanan rendah. Proses ini dimaksudkan untuk menjaga kualitas produk yang diproduksi, seperti mempertahankan cita rasa dan nutrisi yang terkandung dalam produk tidak rusak atau hilang.

Terkait dengan *liquid-gas ejector* tersebut, pengusul telah melakukan beberapa penelitian yaitu pengaruh dimensi nosel terhadap kinerja liquid jet gas pump [1]. Nosel yang digunakan adalah jenis orifice dan dimensi nosel yang dimaksudkan adalah diameter nosel pada sisi keluar aliran primer. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimental dengan parameter yang diteliti adalah hubungan efisiensi terhadap dimensi nosel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bertambahnya diameter nosel cenderung menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi. Penelitian yang lain adalah pengaruh geometri nosel pada aliran dua fase terhadap kinerja liquid gas ejector [2]. Nosel yang digunakan adalah jenis konvergen dan geometri nosel yang dimaksudkan adalah perbandingan antara diameter nosel pada bagian inlet dengan diameter nosel bagian outlet. Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan parameter yang diteliti adalah hubungan efisiensi terhadap geometri nosel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatnya geometri nosel menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi liquid gas ejector.

Desain *liquid-gas ejector* terdiri dari empat bagian utama yaitu: nosel, suction chamber, throat, dan diffuser. Nosel merupakan salah satu dari empat bagian utama dari desain *liquid-gas ejector* yang menghasilkan pancaran fluida. Bentuk pancaran fluida yang dihasilkan nosel akan menentukan pola aliran pada suction zone yang mempengaruhi kinerja sebuah *liquid-gas ejector*. Sedangkan bentuk pancaran

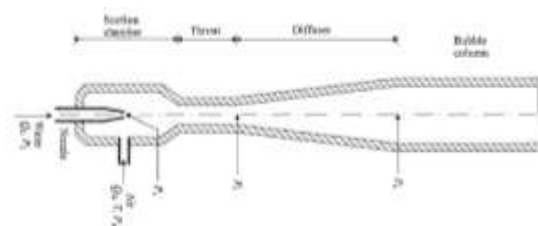
fluida yang dihasilkan nosel tergantung pada geometri nosel dan spasi nosel.

Mengingat begitu pentingnya spasi nosel dalam mempengaruhi kinerja sebuah *liquid-gas ejector*, maka penulis mencoba melakukan penelitian pengaruh spasi nosel pada aliran dua fase terhadap kinerja *liquid-gas ejector* dalam sebuah eksperimen. Spasi nosel yang dimaksud adalah jarak antara nosel bagian outlet terhadap throat bagian inlet.

Tinjauan Pustaka

Liquid-gas ejector

Pada dasarnya *liquid-gas ejector* terdiri dari empat bagian utama yaitu adalah nosel, suction chamber, throat, dan diffuser. Pada gambar 1 diperlihatkan air yang dialirkan melalui nosel (aliran primer) dengan debit Q_L dan tekanan P_L mengalami peningkatan kecepatan dan penurunan tekanan P_s akibat dari perubahan penampang nosel yang semakin mengecil. Kecepatan air yang tinggi pada saat keluar nosel juga menyebabkan tekanan statis pada suction chamber sangat rendah sampai di bawah tekanan atmosfer (vakum), sehingga aliran udara dari aliran sekunder yang mempunyai tekanan atmosfer akan mengalir ke suction chamber dan bercampur dengan air yang keluar dari nosel.



Gambar 1. *Liquid-gas ejector*

Setelah kedua fluida tersebut bercampur dan mengalir melalui throat, kecepatan akan menurun dan tekanan P_t akan meningkat pada saat memasuki diffuser. Selanjutnya kecepatan terus menurun dan tekanan P_e meningkat seiring dengan bertambahnya diameter diffuser.

Nosel

Nosel merupakan salah satu komponen utama dari sebuah ejector yang

berfungsi sebagai alat yang mengkonversi bentuk energi tekanan statik ke bentuk energi dinamik. Penelitian efek geometri nosel terhadap karakteristik liquid jet telah dilakukan. Geometri nosel yang dimaksudkan dalam penelitian ini adalah aspek rasio dan sudut kontraksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan aspek rasio menyebabkan penurunan tingkat turbulensi aliran jet, sedangkan penurunan sudut kontraksi menyebabkan peningkatan tingkat turbulensi aliran jet [3].

Suction Chamber

Suction Chamber adalah salah satu bagian atau komponen ejector yang berfungsi sebagai tempat terjadinya kevakuman dan percampuran antara aliran primer dan sekunder. Ada dua jenis profil utama suction chamber yang pernah diteliti, yaitu *well rounded* dan *conical* [4].

Throat

Throat merupakan tempat berlangsungnya konversi energi setelah terjadi entrainment [5]. Entrainment didefinisikan sebagai sebuah proses terjeraknya fluida ke dalam fluida lain dikarenakan adanya instabilitas interface antara kedua fluida. Instabilitas yang dimaksud adalah instabilitas tekanan yang diakibatkan oleh adanya beda kecepatan antara fluida pada interface. Instabilitas tekanan mengakibatkan bentuk interface berosilasi irregular hingga terjadi terlepasnya fluida jet membentuk droplet atau jet break [6].

Di dalam throat terjadi inverse pola aliran yaitu gas continue menjadi liquid continue. Perubahan pola ini disebabkan oleh adanya pertukaran momentum antara aliran. Fenomena saat terjadinya perubahan kecepatan supersonic menjadi subsonic pada throat setelah terjadi percampuran antara *motive flow* dan *entrainment flow* disebut dengan fenomena *mixing shock*. *Mixing shock* ditandai dengan gradien tekanan yang tinggi dan secara visual terjadi perubahan pola aliran dimana pola aliran setelah terjadinya *mixing shock* berbentuk

gelembung gas yang berdiameter kecil (*froth flow*) dan cenderung homogen.

Geometri *throat* terdiri dari diameter sisi masuk dan sisi keluar serta panjang throat. Diameter dan panjang throat merupakan ukuran yang sensitif pada ejector. Rasio panjang throat terhadap diameter throat yang besar mengakibatkan kerugian akibat gesekan aliran, sebaliknya terlalu pendek akan memudahkan terjadinya resiko banjir atau *flooding* pada *suction chamber* [7].

Diffuser

Diffuser difungsikan untuk mengubah bentuk energi kecepatan aliran menjadi energi tekanan aliran. Perubahan bentuk energi ini dilakukan secara bertahap. Berdasarkan proses konversi yang terjadi didalam diffuser perubahan luas penampang menentukan efisiensi dari diffuser ini. Prinsip yang harus dihindari adalah gradien tekanan yang besar pada diffuser. Geometri optimum diffuser dicapai pada sudut 70, dengan rasio luas penampang 1 berbanding 9 [8].

Kinerja liquid-gas ejector

Liquid-gas ejector menghasilkan kompresi isothermal (proses yang berlangsung pada temperatur konstan) dari udara dalam bentuk kerja. Adapun persamaan bentuk kerja dari udara pada kompresi isothermal adalah:

$$W_G = \rho_G Q_G R T \ln \left(\frac{P_d}{P_s} \right) \quad [9]$$

Dengan:

W_G = kerja yang dihasilkan gas/udara (J/s)

ρ_G = densitas udara pada aliran sekunder (kg/m³)

Q_G = debit aliran udara yang masuk pada suction chamber (m²/s)

R = konstanta gas/udara (J/kg.°K)

T = temperatur pada suction chamber (°K)

P_d = tekanan pada ujung hilir diffuser (Pa)

P_s = tekanan pada suction chamber (Pa)

Energi masuk (E_{in}) ke LJGP adalah:

$$E_{in} = Q_L (P_i - P_d) \quad [9]$$

Dengan

E_{in} = energi yang masuk ke LJGP (J/s)

Q_L = debit aliran air masuk nosel (m³/s)
 P_i = tekanan air pada saat masuk nosel (kPa)

Efisiensi mekanik LJGP adalah jumlah kerja yang dihasilkan dibagi energi yang masuk,

$$\eta = \frac{P_G \phi \ln(P_d/P_s)}{(P_i - P_d)} \quad [9]$$

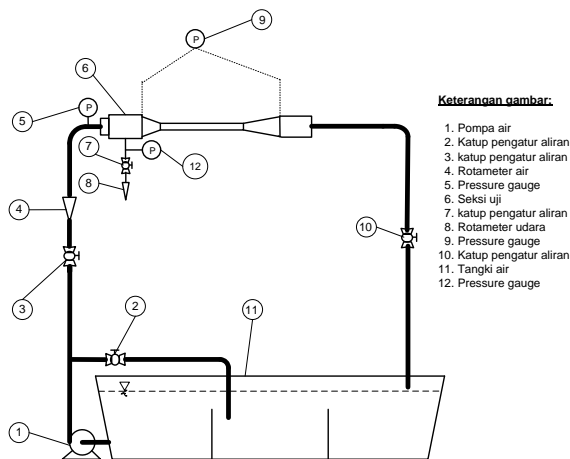
Dengan:

η = efisiensi mekanik (%)
 ϕ = rasio aliran udara
 P_G = Tekanan udara (kPa)

Metode Penelitian

Skema peralatan penelitian

Instalasi penelitian dan desain *liquid-gas ejector* untuk melakukan penelitian tersaji pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Skema instalasi penelitian

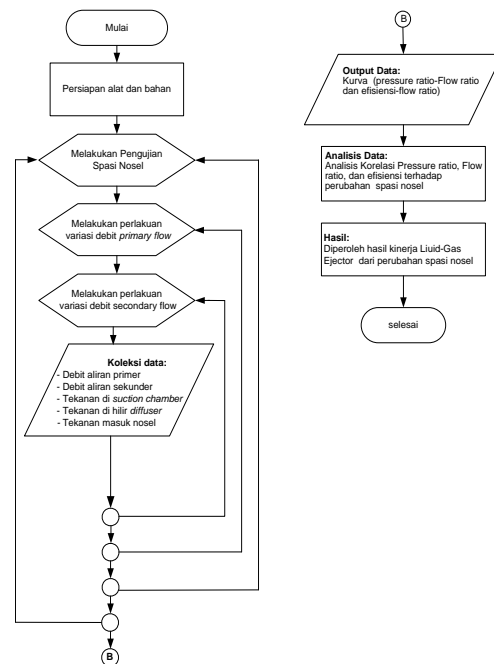
Variabel penelitian

Penelitian akan dilakukan dengan memvariasikan variabel debit aliran pada motive dan secondary flow pada *liquid-gas ejector* dengan menggunakan nosel jenis konvergen dari beberapa variasi spasi nosel. Perubahan tekanan aliran dilakukan dengan mengatur debit air dan udara yang keluar dari flowmeter.

Tahapan penelitian

Tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah mengetahui pengaruh perubahan dimensi nosel terhadap kinerja *liquid-gas ejector*. Untuk memberikan

solusi dari tujuan tersebut maka dilakukan penelitian dengan alur yang tersaji pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alur penelitian

Analisis data

Analisis data dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan teknik analisis kuantitatif deskriptif, yaitu teknik yang digunakan untuk mendeskripsikan atau menyampaikan hasil penelitian dalam bentuk grafik.

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah debit aliran dan tekanan dengan dua variasi debit yaitu pada *primary flow* dan *secondary flow* dengan menggunakan lima spasi nosel yang berbeda. Spasi nosel yang dimaksud adalah jarak antara nosel bagian *outlet* dan *throat* bagian *inlet*, yaitu 5 mm (S5), 10 mm (S10), 15 mm (S15), 20 mm (S20), dan 25 mm (S25).

Hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara *pressure ratio*, *flow ratio*, dan efisiensi terhadap perubahan spasi nosel. Grafik yang didapat kemudian dibandingkan, sehingga akan terlihat pengaruh perubahan spasi nosel terhadap *pressure ratio*, *flow ratio*, dan efisiensi.

Hasil dan Pembahasan

Kondisi penelitian

Penelitian pengaruh spasi nosel pada aliran dua fase terhadap kinerja *liquid-gas ejector* ini telah dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak. Jenis nosel yang digunakan adalah convergen dengan lima variasi spasi nosel yaitu 5 mm; 10 mm; 15 mm; 20 mm; dan 25 mm. Pada masing-masing variasi spasi nosel dilakukan pengaturan debit aliran *motive* dari debit terendah yang mampu menghasilkan debit aliran sekunder (vakum) sampai debit tertinggi yang mampu dihasilkan nosel. Untuk setiap pengaturan debit aliran *motive* dilakukan beberapa kali pengukuran berdasarkan variasi debit aliran sekunder dengan menggunakan rotameter.

Adapun variabel yang diukur adalah debit aliran *motive* , debit aliran sekunder, tekanan pada sisi masuk nosel, tekanan pada *suction chamber*, tekanan pada *diffuser*. Pengukuran debit aliran *motive* dan sekunder menggunakan rotameter, pengukuran tekanan *motive* menggunakan manometer tabung bourdon, pengukuran tekanan pada *suction chamber* menggunakan manometer raksa, dan pengukuran tekanan pada *diffuser* menggunakan manometer air. Sedangkan temperatur operasional penelitian adalah 32°C (temperatur lingkungan).

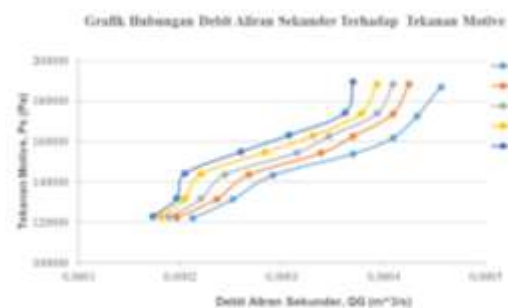
Tekanan dan debit aliran

Tekanan aliran yang dianalisis pada penelitian ini adalah tekanan primer (*tekanan motive*) dan tekanan sekunder (*tekanan vakum*). Tekanan primer adalah tekanan fluida (air) yang dihasilkan pompa, untuk selanjutnya mengalir masuk ke *liquid-gas ejector* melewati nosel. Tekanan primer ini bernilai positif. Sedangkan tekanan sekunder adalah tekanan pada *suction chamber* yang bernilai negatif (vakum). Kevakuman ini terjadi karena kecepatan fluida (air) yang keluar dari nosel memiliki kecepatan yang relatif tinggi, sehingga tekanan pada *suction chamber* lebih rendah dari tekanan atmosfer lingkungan.

Perbedaan tekanan antara *suction chamber* yang lebih rendah (vakum) dan lingkungan yang lebih tinggi menyebabkan udara dari lingkungan bergerak masuk ke *suction chamber*. Jumlah udara yang masuk untuk setiap satuan waktu ke *suction chamber* tersebut didefinisikan sebagai debit aliran sekunder. Sedangkan banyaknya fluida (air) yang masuk ke nosel dalam setiap satuan waktu yang menyebabkan udara masuk ke *suction chamber* didefinisikan sebagai debit aliran primer (*debit motive*).

Hubungan tekanan *motive* terhadap debit aliran sekunder (debit vakum)

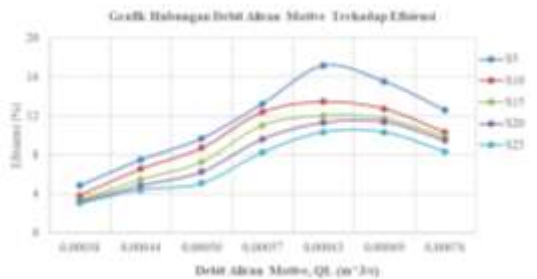
Peningkatan debit aliran *motive* menyebabkan terjadinya peningkatan tekanan *motive* dan debit aliran sekunder. Sementara itu peningkatan debit aliran *motive* juga menyebabkan terjadinya penurunan tekanan pada *suction chamber*. Sedangkan bertambahnya spasi nosel pada debit *motive* yang sama seperti yang ditunjukkan Gambar 4, sedikit menaikkan tekanan *motive* dan menurunkan debit aliran sekunder.



Gambar 4. Grafik hubungan debit aliran sekunder terhadap tekanan motive

Hubungan debit *motive* terhadap efisiensi

Gambar 5 menggambarkan hubungan antara debit *motive* terhadap efisiensi. Pada gambar tersebut terlihat bahwa peningkatan debit *motive* pada spasi nosel yang sama cenderung meningkatkan efisiensi nosel [10].



Gambar 5. Grafik hubungan debit aliran motive terhadap efisiensi

Perubahan efisiensi nosel secara signifikan terjadi pada spasi nosel 5 mm (S5) yaitu sebesar 17,17 %, hal ini dikarenakan pada spasi 5 mm percampuran fluida dari fluida aliran *motive* dan fluida aliran sekunder langsung terdorong keluar dari *suction chamber* menuju *throat*. Sedangkan spasi yang besar akan menyebabkan fluida pada aliran sekunder mengalami pusaran (turbulensi) terlebih dahulu sebelum keluar dari *vacuum chamber*. Penurunan efisiensi yang terjadi seiring dengan bertambahnya spasi nosel. Adapun efisiensi *liquid-gas ejector* dengan spasi nosel 5 mm (S5), 10 mm (S10), 15 mm (S15), 20 mm (S20), dan 25 mm (S25) secara berurutan adalah 17,17%, 13,49%, 12,06%, 11,41%, dan 10,47%.

Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya dapat diambil kesimpulan bahwa peningkatan spasi nosel menyebabkan terjadinya penurunan tekanan vakum (tekanan absolut meningkat), tekanan *motive*, dan debit aliran sekunder. Sedangkan peningkatan tekanan vakum (tekanan absolut menurun), tekanan *motive*, dan debit aliran sekunder pada spasi nosel yang sama disebabkan oleh adanya peningkatan debit aliran *motive*.

Meningkatnya spasi nosel menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi *liquid-gas ejector*. Adapun efisiensi *liquid-gas ejector* dengan spasi nosel 5, 10, 15, 20, dan 25 mm secara berurutan adalah 17,17%, 13,49%, 12,06%, 11,41%, dan 10,47%.

Ucapan terimakasih

Ucapan terimakasih peneliti sampaikan kepada Jurusan Teknik Mesin Polnep yang telah membantu kegiatan penelitian ini terutama bantuan dana yang telah dianggarkan melalui dana PNPB hingga selesainya penelitian ini.

Referensi

- [1] Edi Karyadi, 2012, *Studi Eksperimental Pengaruh Dimensi Nosel Terhadap Kinerja Liquid Jet Gas Pump (LJGP)*, Tesis, UGM Yogyakarta
- [2] Edi Karyadi, 2018, *Pengaruh Perubahan Geometri Nosel Pada Aliran Dua Fase Terhadap Kinerja Liquid Gas Ejector*, Laporan Penelitian, UPPM Polnep.
- [3] Spangelo, S.C, 2009, *Effects of Nozzle Geometry on the Near-Field Characteristics of a Liquid Jet*, 11th Triennial International Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Vail, Colorado USA.
- [4] Yadav, R.L., Patwardhan, A.W., 2008, *Design Aspects of Ejectors: Effects of Suction Chamber Geometry*, Chemical Engineering Science, Vol. 63, 3886 – 3897.
- [5] Witte, J.H, 1969, *Mixing shocks in Two Phase Flow*, J.Fluid.Mech. vol.36, 639-655.
- [6] Iciek, J, 1982, *The Hydrodynamics of a Free, Liquid Jet and Their Influence on Direct Contact Heat Transfer-I, Hydrodynamic of a Free, Cylindrical Liquid Jet*, Int. J. Multiphase Flow, Vol.8, 239-249.
- [7] Neve, R.S, 1991, *Diffuser Performance in Two-Phase Jet Pumps*, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 17, No. 2, 267-272.
- [8] Owen, I, Abdul-Ghani, A, Amini, A.M, 1992, *Diffusing a Homogenized Two-Phase Flow*, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 18, No. 4, 531 – 540.

- [9] Cunningham R. G., 1995, *Liquid Jet Pump for two Phase Flows*, ASME Journal Fluids Engineering, 117, 309-316.
- [10] Stepanoff, A.J, 1957, *Centrifugal and Axial Flow Pump*, 2nd ed, p402-424, John Wiley & Sons, Inc, New York.