

## Pemodelan Pergerakan Benang Pada Saat Peluncuran Pakan Pada Mesin Air Jet Loom

Abdurrohman<sup>1,a)</sup>, Irfandhani Fauzi<sup>1)</sup>, dan Elly Koesneliawaty<sup>1)</sup>

<sup>1</sup>Politeknik STTT Bandung  
Jl. Jakarta No.31 Bandung

a) ikhwan10021991@gmail.com(corresponding author)

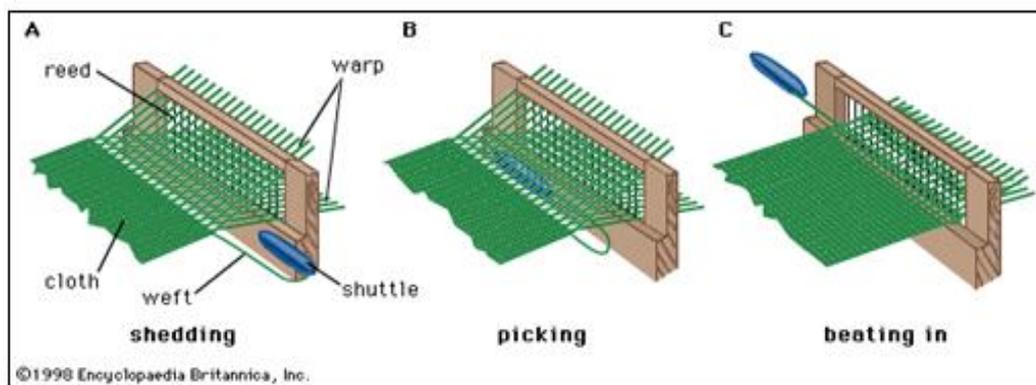
### Abstrak

Pada proses pembuatan kain tenun, penyisipan benang pakan (*picking motion*) pada mulut lusi merupakan salah satu faktor terbentuknya kain. Penyisipan benang pakan dilakukan dengan berbagai jenis media dari mulai shuttle, gripper, tekanan air (*water jet*), tekanan udara (*air jet*), dan *projectile*. Penggunaan jenis media penyisipan pakan berpengaruh kepada kecepatan produksi kain. Air jet menjadi media terpopuler dalam hal penyisipan pakan karena memiliki kecepatan tinggi dan konstruksi mesin yang sederhana. Pada penelitian ini dapat ditunjukkan pemodelan pergerakan benang pada saat penyisipan benang pakan pada mesin Air Jet Loom mulai dari main nozzle sampai ke ujung kain dengan pendekatan teori fisika.

*Kata-kata kunci: Air Jet Loom, Weft Insertion, Picking Motion*

### PENDAHULUAN

Proses pembuatan kain tenun dilakukan dalam 3 tahapan atau sering disebut sebagai 3 gerakan pokok pertenunan yaitu, pembukaan mulut lusi (*shedding motion*), peluncuran pakan (*filling insertion / picking motion*), dan pengetekan (*Beat up motion*). Dari ketiga tahapan tadi, masing-masing tahapan akan berpengaruh terhadap konstruksi kain yang dihasilkan kecuali peluncuran pakan. Adapun peluncuran pakan akan berpengaruh pada kecepatan produksi kain. Secara umum media peluncuran atau penyisipan benang pakan terbagi menjadi dua yaitu, menggunakan teropong (*shuttle*) dan tanpa teropong (*shuttleless*).

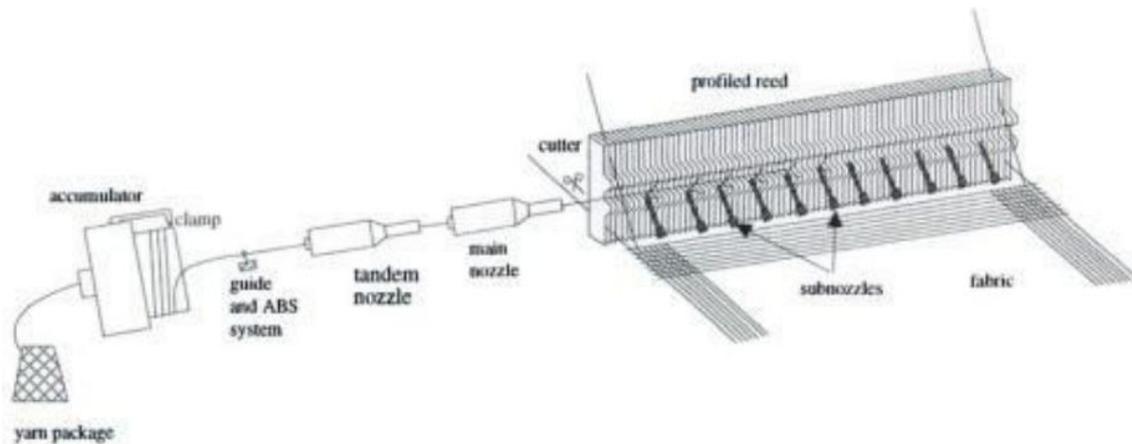


Gambar 1, 3 gerakan pokok pertenunan, Encyclopaedia Britannia (1998)<sup>[1]</sup>

**PEMODELAN PERGERAKAN BENANG**

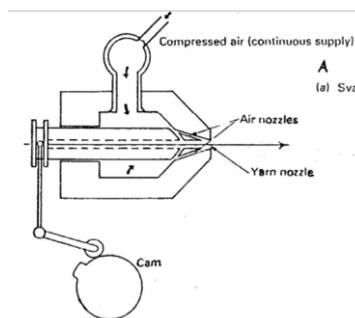
Peluncuran benang pakan tanpa menggunakan teropong (*shuttleless*) sampai saat ini terbagi kedalam 4 media yaitu : menggunakan *gripper (Rapier Loom)*, menggunakan peluru (*projectile loom*), menggunakan tekanan air (*water jet loom*) dan menggunakan tekanan udara (*air jet loom*).

Menurut Sabit Adanur<sup>[3]</sup> dalam bukunya *Handbook of weaving* menerangkan bahwa *air jet loom* merupakan salah satu jenis mesin tenun yang media peluncuran pakannya menggunakan media tekanan udara. Selain itu dalam buku yang sama menerangkan bahwa peluncuran atau penyisipan pakan menggunakan media tekanan udara adalah penyisipan pakan yang paling sederhana dan memiliki beberapa keunggulan yaitu : produktivitas tinggi, memiliki kecepatan penyisipan pakan yang tinggi, memakan tempat yang relatif lebih kecil, kebisingan dan getarannya rendah. Adapun mekanismenya benang pakan didorong dengan tekanan udara dari main nozzle dan diteruskan oleh sub-sub nozzle yang tersebar sampai ujung kain yang aktif secara bergantian dan teratur mendorong benang dari sisi kiri kain sampai ujung sisi kanan kain. Gambar 2 menggambarkan skema penyisipan pakan pada *Air jet loom*.

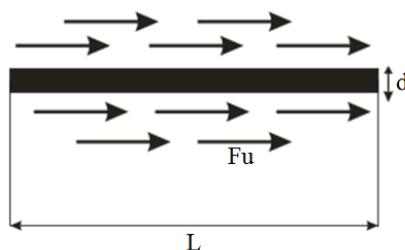


Gambar 2, skema penyisipan benang pakan pada mesin *air jet loom*, Sabit Adanur (2001)<sup>[2]</sup>

Pada saat peluncurannya benang pakan bergerak keluar dari main *nozzle* dengan didorong oleh udara dengan gaya tertentu ( $F_u$ ) dan dilanjutkan dengan didorong oleh udara dari *sub-sub nozzle* sampai ke ujung pinggir kain.



Gambar 3, skema gerakan benang keluar dari *main nozzle*, Emel Onder<sup>[3]</sup>



Gambar 4, skema gaya dorong udara yang terjadi pada benang



$$\int \frac{\partial(m\vec{v})}{\partial t} dt + \left[ m\vec{v} + \frac{\partial(m\vec{v})}{\partial x} dx \right] \cdot \vec{i} + \left[ m\vec{v} + \frac{\partial(m\vec{v})}{\partial y} dy \right] \cdot \vec{j} + \left[ m\vec{v} + \frac{\partial(m\vec{v})}{\partial z} dz \right] \cdot \vec{k} \quad (2)$$

Perubahan momentum per satuan waktu dirumuskan sebagai berikut;

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \int \frac{\partial(m\vec{v})}{\partial t} dt + \left[ m\vec{v} + \frac{\partial(m\vec{v})}{\partial x} dx \right] \cdot \vec{i} + \left[ m\vec{v} + \frac{\partial(m\vec{v})}{\partial y} dy \right] \cdot \vec{j} + \left[ m\vec{v} + \frac{\partial(m\vec{v})}{\partial z} dz \right] \cdot \vec{k} \right\} \\ = \frac{\partial(m\vec{v})}{\partial t} + \left[ \frac{\partial(m\vec{v})}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} \right] \cdot \vec{i} + \left[ \frac{\partial(m\vec{v})}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} \right] \cdot \vec{j} + \left[ \frac{\partial(m\vec{v})}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t} \right] \cdot \vec{k} \end{aligned} \quad (3)$$

Untuk volume yang terbatas/kecil, dx dy dz dengan *density* yang seragam persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut;

$$\rho \left\{ \frac{\partial|\vec{v}|}{\partial t} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} \right] \cdot \vec{i} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} \right] \cdot \vec{j} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t} \right] \cdot \vec{k} \right\} dx dy dz \quad (4)$$

dx/dt, dy/dt, dan dz/dt adalah komponen kecepatan di sumbu x, y, dan z, jadi perubahan momentum per waktu per unit volume dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\rho \left\{ \frac{\partial|\vec{v}|}{\partial t} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial x} \vec{v}_x \right] \cdot \vec{i} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial y} \vec{v}_y \right] \cdot \vec{j} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial z} \vec{v}_z \right] \cdot \vec{k} \right\} dx dy dz \quad (5)$$

Menurut Navier Stokes [4], ada 3 komponen gaya yang bekerja pada fluida yaitu : gaya gravitasi ( $\vec{F}_{grv}$ ), tekanan hidrostatik ( $\vec{F}_{pres}$ ), viskositas ( $\vec{F}_{visc}$ ) yang terjadi akibat adanya gaya-gaya lain ( $\vec{F}_{misc}$ ).

$$\vec{F}_{grv} + \vec{F}_{pres} + \vec{F}_{visc} + \vec{F}_{misc} = \rho \left\{ \frac{\partial|\vec{v}|}{\partial t} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial x} \vec{v}_x \right] \cdot \vec{i} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial y} \vec{v}_y \right] \cdot \vec{j} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial z} \vec{v}_z \right] \cdot \vec{k} \right\} dx dy dz \quad (6)$$

Dikarenakan yang bergerak adalah benang (benda padat elastis) maka,

$$\begin{aligned} \vec{F}_{pres} &= 0 \\ \vec{F}_{grv} + \vec{F}_{visc} + \vec{F}_{misc} &= \rho \left\{ \frac{\partial|\vec{v}|}{\partial t} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial x} \vec{v}_x \right] \cdot \vec{i} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial y} \vec{v}_y \right] \cdot \vec{j} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial z} \vec{v}_z \right] \cdot \vec{k} \right\} dx dy dz \end{aligned} \quad (7)$$

### Pengaruh Gravitasi :

$$\begin{aligned} \vec{F} &= ma \\ \vec{F}_{grv} &= m\vec{g} = \rho v \vec{g} \\ \vec{F}_{grv} &= \rho \vec{g} dx dy dz \end{aligned} \quad (8)$$

Substitusi persamaan (8) ke (7)

$$\rho \vec{g} dx dy dz + \vec{F}_{visc} + \vec{F}_{misc} = \rho \left\{ \frac{\partial|\vec{v}|}{\partial t} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial x} \vec{v}_x \right] \cdot \vec{i} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial y} \vec{v}_y \right] \cdot \vec{j} + \left[ \frac{\partial\vec{v}}{\partial z} \vec{v}_z \right] \cdot \vec{k} \right\} dx dy dz \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \rho g_x + \vec{F}_{visc} + \sum \vec{F}_x &= \rho \left( \frac{\partial v_x}{\partial t} + \vec{v}_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + \vec{v}_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + \vec{v}_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \\ \rho g_y + \vec{F}_{visc} + \sum \vec{F}_y &= \rho \left( \frac{\partial v_y}{\partial t} + \vec{v}_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + \vec{v}_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + \vec{v}_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) \\ \rho g_z + \vec{F}_{visc} + \sum \vec{F}_z &= \rho \left( \frac{\partial v_z}{\partial t} + \vec{v}_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + \vec{v}_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + \vec{v}_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

Viskostas

$$\begin{aligned} \vec{F}_{viskostas} &= \nabla \tau * dV = \nabla \tau dx dy dz \\ \vec{F}_{visc(x)} &= \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \\ \vec{F}_{visc(y)} &= \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} \\ \vec{F}_{visc(z)} &= \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \end{aligned} \tag{11}$$

Dengan menggunakan persamaan hukum Hooke's untuk media elastis isotop

$$\begin{aligned} \sigma_{ij} &= \lambda e_{kk} \delta_{ij} + 2\mu e_{ij} \\ \sigma_{ij} &= \lambda e_{kk} \delta_{ij} + \mu(u_{ij} + u_{ji}) \end{aligned}$$

maka

$$\begin{aligned} \sigma_{xx} &= -\frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \vec{v} + 2\mu \frac{\partial \vec{v}_x}{\partial x} \\ \sigma_{yy} &= -\frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \vec{v} + 2\mu \frac{\partial \vec{v}_y}{\partial y} \\ \sigma_{zz} &= -\frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \vec{v} + 2\mu \frac{\partial \vec{v}_z}{\partial z} \end{aligned} \tag{12}$$

Substitusi persamaan (12) ke (11)

$$\begin{aligned} \vec{F}_{visc(x)} &= \mu \left( \frac{\partial^2 \vec{v}_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{v}_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{v}_x}{\partial z^2} \right) \\ \vec{F}_{visc(y)} &= \mu \left( \frac{\partial^2 \vec{v}_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{v}_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{v}_y}{\partial z^2} \right) \\ \vec{F}_{visc(z)} &= \mu \left( \frac{\partial^2 \vec{v}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{v}_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{v}_z}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \tag{13}$$

Substitusi persamaan (13) ke (10)

$$\begin{aligned} \rho g_x + \mu \left( \frac{\partial^2 \vec{v}_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{v}_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{v}_x}{\partial z^2} \right) + \sum \vec{F}_x &= \rho \left( \frac{\partial \vec{v}_x}{\partial t} + \vec{v}_x \frac{\partial \vec{v}_x}{\partial x} + \vec{v}_y \frac{\partial \vec{v}_x}{\partial y} + \vec{v}_z \frac{\partial \vec{v}_x}{\partial z} \right) \\ \rho g_y + \mu \left( \frac{\partial^2 \vec{v}_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{v}_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{v}_y}{\partial z^2} \right) + \sum \vec{F}_y &= \rho \left( \frac{\partial \vec{v}_y}{\partial t} + \vec{v}_x \frac{\partial \vec{v}_y}{\partial x} + \vec{v}_y \frac{\partial \vec{v}_y}{\partial y} + \vec{v}_z \frac{\partial \vec{v}_y}{\partial z} \right) \\ \rho g_z + \mu \left( \frac{\partial^2 \vec{v}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{v}_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{v}_z}{\partial z^2} \right) + \sum \vec{F}_z &= \rho \left( \frac{\partial \vec{v}_z}{\partial t} + \vec{v}_x \frac{\partial \vec{v}_z}{\partial x} + \vec{v}_y \frac{\partial \vec{v}_z}{\partial y} + \vec{v}_z \frac{\partial \vec{v}_z}{\partial z} \right) \end{aligned} \tag{14}$$

Gravitasi hanya terjadi pada sumbu y

$$\begin{aligned} \rho g_x &= 0 \\ \rho g_z &= 0 \end{aligned}$$

Gaya dorong udara hanya terjadi pada sumbu z

$$\begin{aligned} \sum \vec{F}_x &= 0 & \sum \vec{F}_y &= 0 \\ \sum \vec{F}_z &= \vec{F}_u - \vec{F}_c \end{aligned}$$

maka

$$\begin{aligned} \mu \left( \frac{\partial^2 \bar{v}_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}_x}{\partial z^2} \right) &= \rho \left( \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial t} + \bar{v}_x \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial x} + \bar{v}_y \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y} + \bar{v}_z \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial z} \right) \\ \rho g_y + \mu \left( \frac{\partial^2 \bar{v}_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}_y}{\partial z^2} \right) &= \rho \left( \frac{\partial \bar{v}_y}{\partial t} + \bar{v}_x \frac{\partial \bar{v}_y}{\partial x} + \bar{v}_y \frac{\partial \bar{v}_y}{\partial y} + \bar{v}_z \frac{\partial \bar{v}_y}{\partial z} \right) \\ \mu \left( \frac{\partial^2 \bar{v}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}_z}{\partial z^2} \right) + \bar{F}_u - \bar{F}_c &= \rho \left( \frac{\partial \bar{v}_z}{\partial t} + \bar{v}_x \frac{\partial \bar{v}_z}{\partial x} + \bar{v}_y \frac{\partial \bar{v}_z}{\partial y} + \bar{v}_z \frac{\partial \bar{v}_z}{\partial z} \right) \end{aligned} \tag{15}$$

Jika  $v_x$  dan  $v_y$  sangat kecil, maka

$$\mu \left( \frac{\partial^2 \bar{v}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}_z}{\partial z^2} \right) + \bar{F}_u - \bar{F}_c = \rho \left( \frac{\partial \bar{v}_z}{\partial t} + \bar{v}_x \frac{\partial \bar{v}_z}{\partial x} + \bar{v}_y \frac{\partial \bar{v}_z}{\partial y} + \bar{v}_z \frac{\partial \bar{v}_z}{\partial z} \right) \tag{16}$$

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut Sabit Adanur [2] dalam buku handbook of weaving menyatakan bahwa

$$\bar{F}_u = \bar{F}_c$$

dengan  $\bar{F}_u$  adalah gaya dorong udara dan  $\bar{F}_c$  adalah gaya hambat udara.

Pada penelitian ini sesuai dengan pernyataan Navier-Stokes [3] bahwa terdapat 3 komponen gaya dan gaya tambahan pada benda padat elastis yang bergerak. gaya gravitasi ( $\bar{F}_{grv}$ ), tekanan hidrostatis ( $\bar{F}_{Pres}$ ), viskositas ( $\bar{F}_{Visc}$ ) yang terjadi akibat adanya gaya-gaya lain ( $\bar{F}_{Misc}$ ).

$$\bar{F}_{visc} + \bar{F}_u - \bar{F}_c = m \frac{d\bar{v}}{dt} \tag{17}$$

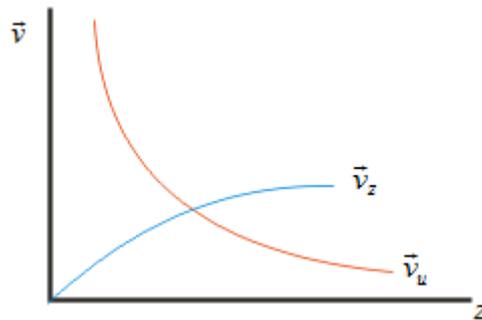
Jika  $\bar{F}_{Visc}$  sangat kecil,  $\frac{c}{m} = 1$  dan  $\bar{F}_u = \bar{F}_c$  maka,

$$\bar{v}_u = \bar{v}_z e^{-z} \tag{18}$$

$$\bar{v}_z = \bar{v}_u e^z \tag{19}$$

dengan  $\bar{v}_u$  adalah kecepatan udara dan  $\bar{v}_z$  adalah kecepatan benang

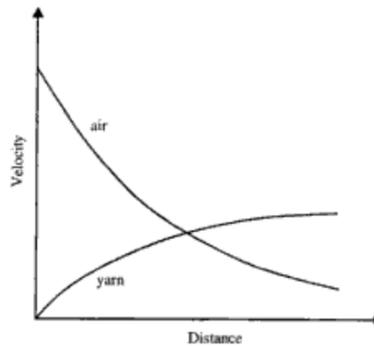
Persamaan (18) dan (19) ditampilkan dalam grafik waktu terhadap jarak sebagai berikut,



Gambar 6, grafik waktu terhadap jarak

Dari grafik pada gambar 6 diatas dapat kita lihat bahwa hubungan kecepatan udara dengan jarak berupa grafik eksponensial yang menunjukkan penurunan kecepatan udara dalam setiap pertambahan jarak. Adapun kecepatan benangnya akan bertambah seiring dengan pertambahan jarak. Hal ini sesuai dengan pembahasan

Sabit Adanur<sup>[1]</sup> dalam buku handbook of weaving tentang hubungan kecepatan udara, kecepatan benang dan jarak pada peluncuran pakan seperti grafik berikut.



Gambar 7, grafik hubungan waktu terhadap jarak pada peluncuran pakan mesin *air jet loom* [2]

## REFERENSI

1. Encylopedia britania
2. Sabit Adanir, Handbook of weaving, Sulzer, Switzerland, 2001
3. Emel Onder, Jet Weaving, Turkey
4. The Navier-Stokes Equation, academic resource center, Illinois Institute of Technology