

## ABSTRACT

Microfluidic mixing is a key process in miniaturized analytical system. Achieving adequate mixing performance is considerably difficult in micromixer as the flow is always associated with unfavourable laminar flow. The mixing performance of these micromixers are generally characterized as a function of mixing index based on dispersion (homogeneity) information, leading to either overestimated or underestimated mixing index. This research presents a novel method to determine mixing index of micromixers based on red, green and blue (RGB) colour model by decoding mixing images to their respective red, green and blue pixel intensities. The proposed method is foreseen handy and robust in characterizing mixing in real time for gradient mixing in networked microchannels and multivortex mixing for the manipulation of fluids, particles and biological substances. Several digital composite images were used to perform initial benchmarking, and the proposed method accurately quantified the mixing index significantly better than previously adopted methods. T-, Y-, and Dean micromixer were laser fabricated and the proposed Dean micromixer exhibits higher mixing performance (about 27% better) as compared to T- and Y- micromixers for  $40 \leq Re \leq 100$ . Extraneously induced ultrasound and thermal energy were studied and their effects towards mixing performance is more significant at  $5 \leq Re \leq 20$  because of prolonged mechanical effect within the system. It is also found that the mixing index increases of about 6% to 10% at various Reynolds number once the sonicated mixing fluids were heated from 30 °C to 60 °C. The proposed method and improved design of the Dean micromixer are potentially useful for sensitive microfluidic devices as direct contact of the inductive energy sources may cause unwanted substrate damage and structural deformation especially for applications in biological analysis and chemical synthesis.

**Keywords:** Microfluidic, micromixer, mixing index, ultrasound, thermal energy

## ***Eksperimen Prestasi Pencampuran Dalam Pengadun Mikro yang Direka Dengan Laser***

### **ABSTRAK**

*Pengadun bendalir mikro adalah proses utama dalam sistem analisis miniatur. Prestasi pencampuran yang mencukupi merupakan perkara yang sukar untuk diperolehi dalam pengadun mikro kerana aliran bendalir bersifat laminar. Prestasi pencampuran dalam pengadun mikro pada umumnya dicirikan sebagai fungsi indeks pencampuran berdasarkan maklumat penyebaran (keseragaman). Hal ini menyebabkan bacaan indeks pencampuran menjadi kurang tepat. Kajian ini memperkenalkan cara baru untuk menentukan bacaan indeks pencampuran berdasarkan model warna merah, hijau dan biru (RGB) dengan menyahkodkan imej pencampuran kepada intensiti pixel merah, hijau dan biru secara berasingan. Kaedah yang dicadangkan dijangka berguna untuk mencirikan prestasi pencampuran masa nyata untuk pencampuran kecerunan dalam rangkaian saluran mikro, pencampuran pelbagai vortex untuk memanipulasi cecair, zarah dan bahan-bahan biologi. Beberapa imej komposit digital telah digunakan sebagai penanda aras dan kaedah yang dicadangkan berjaya mengukur indeks pencampuran dengan tepat berbanding kaedah-kaedah yang terdahulu. Pengadun mikro T-, Y- dan Dean telah direka dengan laser dan didapati bahawa pengadun mikro Dean menunjukkan prestasi pencampuran yang lebih tinggi (lebih kurang 27%) berbanding pengadun mikro -T dan -Y untuk bacaan  $40 \leq Re \leq 100$ . Rangsangan luaran ultrabunyi dan tenaga haba telah dikaji sebagai kaedah untuk meningkatkan indeks pencampuran. Kesan rangsangan-rangsangan ini terhadap prestasi pencampuran adalah lebih ketara pada  $5 \leq Re \leq 20$  kerana lanjutan kesan mekanikal dalam sistem tersebut. Indeks pencampuran bendalir yang dirangsang dengan ultrabunyi juga didapati meningkat dari 6% ke 10% untuk pelbagai nombor Reynolds apabila suhu dinaikkan dari 30 °C ke 60 °C. Kaedah yang dicadangkan dan reka bentuk pengadun mikro*

*Dean yang lebih baik berpotensi digunakan untuk peranti mikrofluida yang sensitif kerana sumber tenaga induktif secara langsung boleh menyebabkan kerosakan substrat yang tidak diinginkan dan perubahan struktur terutamanya dalam analisis biologi dan sintesis bahan kimia.*

**Kata kunci:** *Bendalir mikro, pengadun mikro, indeks pencampuran, ultrabunyi, tenaga haba*